3　光環境の測定

3.1　照度の測定

1　演習の目的

室内照明環境の実態を量的に把握することを第1の目的とするが，あわせて，測定器の操作を習得し，測光量としての照度の概念を正確に把握することをも目的としている。

人工光源によって得られる照度は時間的な変動がほとんどないため，時間はかかっても正確な測定を行うよう努めればよいが，昼光照度は太陽位置や天候が変化することによって，刻々と変化するため，測定にあたっては天候の安定した時間帯を選び，敏速に測定を行うように注意する必要がある。

2　基礎事項

2.1　測光量と単位

放射エネルギを目で感じる強さ，すなわち，視感で測ったものが測光量である。視感を生じさせる放射の波長域は380～780nm，放射の中にこれを含むものが光である。視感を生じさせる放射の能力を視感度とよび，標準的には，最大視感度は555nm で680lm/W，これに対する他の波長の視感度の比を比視感度とよぶ。基本的な測光量と単位およびその定義を表3.1.1に簡略に示す。

表3.1.1　測光量の単位と定義

測光量	記号	単位	次元	定義
光束	F	lm ルーメン	lm	単位時間に流れる光の量
光度	I	cd カンデラ	lm/sr	単位立体角内への発散光束
照度	E	lx ルクス	lm/m²	単位面積当りの入射光束
光束発散度	M	rlx ラドルクス	lm/m²	単位面積当りの発散光束
輝度	L	cd/m²	cd/m²	ある方向への単位投影面積当りの光度

2.2　昼光率

昼光による照度は，季節・天候・時刻などによる変動があるため，設計や評価のための基準として用いるには不適当である。そこで野外照度とは無関係に室内の昼光の量を表す指標として昼光率が定義されている。

$$\text{昼光率}\ D=\frac{\text{その点の照度}\ E}{\text{そのときの全天空照度}\ E_s}=\frac{E_d+E_r}{E_s}=D_d+D_r \qquad (3.1.1)$$

ここで，E_dは窓から見える天空などによる直接照度，E_rは室内各面での相互反射の結果得られる間接照度，D_dは直接昼光率，D_rは間接昼光率である。なお，E_sは周囲に障害物のない野外における直射日光を除いた全天空による水平面照度である。

昼光率 D は通常%で表示される。また受照点の照度を知るには，全天空照度 E_sにこの昼光率 D を乗じれば直ちに求められる。

2.3　明るさの基準

2.3.1　照度基準

JIS Z 9110（照度基準）には各種の建物について場所別，作業別に広範にわたり人工照明設計の基準となる照度を定めている。表3.1.2にその一部を示す[1]。照度目盛は感覚的にほぼ等間隔になるよう公比1.5の等比数列をなしている。

ここに示されている照度は主として作業面（椅子作業；床上85cm，座業；床上40cm，廊下・屋外など；床面または地面）の水平面照度を示す。＊印の作業については局部照明を併用することによって得てもよいとされているが，この場合の全般照明の照度は局部照明の照度の1/10以上が望ましいとされている。

2.3.2　昼光率基準

日本建築学会ではJISの照度基準を参考に表3.1.3に示すような昼光率基準を推奨している[2]。表に示す基準を満足する作業面では年間の採光昼間*の60%は人工照明の補助を必要としない明るさが得られる。

2.3.3　室内照度分布

室内作業面上の照度は，壁面から1m 以内を除く範囲において，最大照度と最小照度の

＊昼光利用が期待できる時間帯として定めたもので太陽高度10°以上の昼間を指す。

表3.1.2　照度基準（JIS Z 9110－1979より抜粋）

場所	照度基準 (lx)	作業・室
事務所	1 500～750	事務室a[1]・営業室・設計室・製図室・玄関ホール(昼間)[2]
事務所	500～200	集会室・応接室・待合室・食堂・調理室・娯楽室・修養室・守衛室・ホール
事務所	150～75	喫茶室・休養室・宿直室・更衣室・倉庫・玄関(車寄せ)
事務所	75～30	屋内非常階段
事務所	3 000～750	設計*・製図*・タイプ*・計算*・キーパンチ*
事務所	750～300	事務室b・役員室・会議室・印刷室・電話交換室・電子計算機室・制御室・診察室・配電盤*・計器盤*・受付*
事務所	300～150	書庫・作業室・金庫室・電気室・講堂・機械室・エレベーター
事務所	200～100	洗場・湯沸場・浴室・廊下・階段・洗面所・便所
工場[3]	3 000～1 500	精密機械・電子部品製造・印刷工場など極めて細かい視作業　組立a*・検査a*・試験a*・選別a*・設計*・製図*・制御室などの計器*・制御盤*
工場[3]	1 500～750	繊維工業の選別・検査　印刷工業の植字・校正　化学工業の分析など細かい視作業　組立b*・検査b*・試験b*・選別b*・設計室・製図室
工場[3]	750～300	一般製造工程などでの普通の視作業　組立c*・検査c*・試験c*・選別c*・包装a*・倉庫内の事務*　制御室
工場[3]	300～150	小物製品の包装などの視作業　包装b・荷造りa・電気室・空調機械室
工場[3]	150～75	大きな製品の包装などの視作業　包装c・荷造りb, c・出入口・廊下・通廊・作業を伴う倉庫　階段・洗面所・便所
工場[3]	75～30	屋内非常階段・倉庫・屋外動力設備
工場[3]	30～10	屋外(原料・材料などの置場, 通路・構内警備用)
学校[4]	1 500～300	製図室・被服教室・電子計算室・精密製図*・精密実験*・ミシン縫*・キーパンチ*・図書閲覧*・精密工作*・美術工芸製作*・板書*・てんびん台による計量*
学校[4]	300～75	講堂・集会室・休養室・ロッカー室・昇降口・廊下・階段・洗面所・便所・公仕室・宿直室・渡り廊下
学校[4]	75～30	倉庫・車庫・非常階段・徒手体操場・器械体操場・陸上競技場, サッカー・ラグビー・ハンドボール・ソフトボールグラウンド
学校[4]	10～2	構内通路(夜間使用)
学校[4]	750～200	教室・実験実習室・実習工場・研究室・図書閲覧室・書庫・事務室・教職員室・会議室・保健室・食堂・ちゅう房・給食室・放送室・印刷室・電話交換室・守衛室・屋内運動場
学校[4]	150～50	バスケットボールコート, バレーボールコート, テニスコート, ソフトボールのバッテリー間*, 水泳プール
住宅・共同住宅[5]	1 000～500	勉強*・読書*(書斎・子供室・勉強室)
住宅・共同住宅[5]	500～200	食卓*・調理台*・流し台*・ひげそり*・化粧*(浴室・脱衣)・洗面*・掃除*・点検*
住宅・共同住宅[5]	100～50	全般（書斎・食堂・台所・便所）
住宅・共同住宅[5]	50～20	全般(納戸・物置)
住宅・共同住宅[5]	10～5	通路
住宅・共同住宅[5]	2～1	深夜防犯
住宅・共同住宅[5]	2 000～750	手芸*・裁縫*・ミシン*
住宅・共同住宅[5]	750～300	読書(居間・寝室)*・電話*・化粧(居間・寝室)*・鏡*・工作*
住宅・共同住宅[5]	300～150	団らん*・娯楽*・遊び*・テーブル*・ソファー*・飾りだな*・座卓*・床の間*・洗濯*・くつ脱ぎ*
住宅・共同住宅[5]	150～75	全般（子供室・勉強室・家事室・作業室・浴室・脱衣室）・玄関・パーティ*・食事*(庭)
住宅・共同住宅[5]	75～30	全般[6]（居間・応接室・座敷・廊下・階段・車庫・テラス）・表札*・郵便受*・押しボタン
住宅・共同住宅[5]	30～10	全般(寝室)

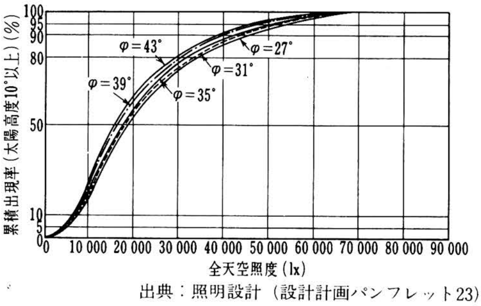
1）事務室は細かい視作業を伴う場合および昼光の影響により窓外が明るく，室内が暗く感じる場合はaを選ぶことが望ましい。
2）玄関ホールでは昼間の屋外自然光による数万lxの照度に目が順応していると，ホール内部が暗く見えるので，照度を高くすることが望ましい。
3）表中のaは細かいもの・暗色のもの・対比の弱いもの・特に高価なもの・衛生に関係ある場合，精度の高いことを要求される場合，作業時間の長い場合，bは中間，cは反対の場合。危険作業，視対象物の反射が低いときは1.5～2倍の照度とする。
4）視力や聴力の弱い児童・生徒が使用する教室・実験実習室などの場合は2倍以上の照度とする。
5）それぞれの場所の用途に応じて全般照明と局部照明を併用することが望ましい。
6）居間・応接室・寝室については調光を可能にすることが望ましい。

出典：建築設計資料集成，1．環境

表3.1.3　昼光率基準

作業または室の種別例	基準昼光率(%)	左の場合の昼光照度(lx) 明るい日	平生	暗い日	非常に暗い日
時計修理・昼光のみの手術室	10	3 000	1 500	500	200
長時間の裁縫・精密製図・精密工作	5	1 500	750	250	100
短時間の裁縫・長時間の読書・製図一般・タイプ・電話交換・歯科診察	3	900	450	150	60
読書・事務・診察一般・普通教室	2	600	300	100	40
会議・応接・講堂平均・体育館最低・病室一般	1.5	450	225	75	30
短時間の読書(昼間)・美術展示・図書館書庫・自動車車庫	1	300	150	50	20
ホテルロビー・住宅食堂・居間一般・映画館休憩室・教会客席	0.7	210	105	35	14
廊下階段一般・小型貨物倉庫	0.5	150	75	25	10
大型貨物倉庫・住宅納戸・物置	0.2	60	30	10	4

出典：建築設計資料集成，1・環境



出典：照明設計（設計計画パンフレット23）

図3.1.1　全天空照度の累積出現率

比（これを均斉度という）が以下に示す値以下であることが望ましいとされている[3]。

人工照明　3：1　　昼光照明　10：1

人工光・昼光併用照明　5：1

2.3.4　全天空照度 E_s

全天空光による野外の水平面照度は太陽高度(時刻)，天気，大気の状態などによって大幅に変動する。図3.1.1は北1/4天空による水平面照度の2年間にわたる連続測定の結果から得られた，全天空照度の累積出現率である[4]。設計目的に応じて累積出現率を選定すれば，全天空照度の設計用標準値を知ることができる（例えば，最低照度の確保を目的とすれば出現率5％で E_s＝5 000lx）。

3　測定の準備

3.1　照　度　計

測定には光電池照度計を用いることを原則とし，その性能はJIS C 1609(光電池照度計)に規定されるA級以上のものとする。なお，写真3.1.1に示すように受光部と測定部とが

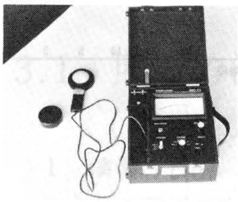


写真3.1.1 光電池照度計の一例

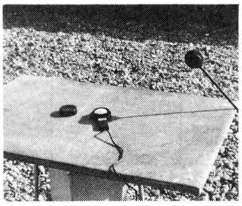


写真3.1.2 直射光のしゃへい

分離可能なタイプが望ましい。昼光率を測定する場合は最低2台必要であるが，受講者数に応じて数台準備する場合も同一の機種を用いることが望ましい。また，野外では7～8万 lx，室内でも窓際では1万 lx 近い照度を得る場合があり，この場合通常計器の標準測定範囲を超えるので適正な減光フィルタを準備しておくこと。

3.2 直射光しゃへい装置

昼光率の基準となる全天空照度は直射日光による成分を含まない値である。したがって全天空照度の測定は天候の変動の少ない曇天時に行うことが望ましい。やむを得ず晴天時に測定する場合は，照度計の受光部に直射光を与えない配慮が必要である（写真1.1.5)。

簡易には写真3.1.2に示すようなしゃへい球を用いてその影を受光部に落とし，測定すればよい。写真の装置は硬式テニスボールに支持棒を取り付けた後，つや消黒色塗装を施したものである。しゃへい球の位置が受光部に近すぎると球によってしゃへいされる天空の量が多くなり，測定誤差が増えるので1～2 m 離して，支持者の身体が受光面より上方に出ないよう注意が必要である。

3.3 そ の 他

測定室の平面図・断面図・展開図など，測定点と窓や光源の位置関係を明確にする資料。

ストップウォッチ・時計など，室内外の測定時刻を一致させるための補助手法（昼光率測定の場合。トランシーバーなどがあれば，さらに便利である)。

4 照度計の取扱い方

計器付属の取扱説明書を熟読し，使用法を正しく理解しておくことが必要であるが，一般的な取扱い上の注意点を以下に列挙する。

1）計器に強い振動や衝撃を与えないこと。

2）受光部を清浄に保つこと。

3）受光部と測定部は同一製造番号のものを使用すること（一般に同一の機種であっても互換性はないものと考えてよい。また，器差もかなりあるのが現状であるから，複数の機器を用いて測定する場合は標準となる計器を定め，その指示を基準に補正係数を求めておくこと)。

4）電源を必要とする機種では電源電圧が十分あることを確認すること（演習開始前に新しい電池と交換することが望ましい)。

5）指示計の機械的零点および電気的零点を正しく調整しておくこと。

6）測定レンジはまず，最大レンジで測定を行い，順次低いレンジに切り換えて指針の振れが最大目盛の約1/3以上となるよう読取精度の高いレンジを選択する。

7）指針の振り切れは避けること。また，受光部に過大な光を与えないよう，特に野外測定時には注意すること。

8）指針の読みは直上から正しく読み取ること（スケール面に鏡のついている場合は，指針とその像が一致する位置から読み取れば正確に指示値が読み取れる)。

5 演習の進め方

5.1 第1回演習

光源出力の安定した人工光照明を対象とした測定を通じて照度計の使用法を習得する。

5.1.1 器差の検討

照度計は同一機種であっても個々の計器の指示値には差があるのが通常である。したがって，本演習に使用する照度計の器差を以下の手順により検討し，補正係数を求める。

1）標準となる照度計を1台選定する。

2）標準照度計と比較照度計の受光部を同一平面上に接近して置き，各照度計の指示値を記録し，標準照度計の指示値を基準として比較照度計の補正係数を求める。

3）測定にあたって注意すべき点

① 各照度計の受光部の位置は照度むらのない範囲内に設定すること。照度分布の均一性は標準照度計を用いて確認しておくこと。

② 各照度計は測定開始前に5分間以上予備露光を行い，光電流の出力を安定させること。

③ 測定値は表3.1.4のように整理すれば便利である。

5.1.2 人工照明による作業面照度の測定

1）測定点の選定

壁際より1m以内を除いて約1mごとに等間隔となるよう各座席の机上面に測定点を選定し，平面図に記入する。同時に机上面高さ，光源器具の高さおよび位置なども記録しておく。図3.1.2に選定例を示す。

2）測定の手順

① 暗幕を閉じ昼光をしゃ光する。

② 人工光源の点灯条件（全列点灯・窓際1列消灯・同2列消灯など）を定める。

③ 各測定点における水平面照度を測定する。測定にあたっては，測定者や他の在室者が受光部に入る光の障害とならないよう測定姿勢に注意すること。

3）測定結果の記録

表3.1.5の例にならい測定条件および結果を記録する。(1)測定年月日，(2)測定場所，(3)測定者氏名，(4)照明器具やランプの種類，ランプ交換や清掃の月日，(5)点灯条件，(6)測定結果，(7)使用照度計，(8)その他特記事項など。

5.2 第2回演習

昼光率の測定を行い，昼光照度の性質を把握するとともに室の採光性能を検討する。

昼光率は前述のように野外全天空照度との比で表されるが，窓から見える天空の輝度が直接室内の照度に影響を与える。したがって，天候の変動が激しい場合は同一地点の測定値であっても時刻によっては得られる比（昼光率）の値が異なることがある。

表3.1.4 器差の記録様式の例

機器 No.	1．(4398)		2．(4396)		3．(4397)		4．
	照度(lx)	比率	照度(lx)	比率	照度(lx)	比率	照度(lx)
第1回	285	1*	293	1.03	270	0.95	
第2回	257	1	263	1.02	245	0.95	
第3回	213	1	220	1.03	200	0.94	
平均		1		1.03		0.95	

*No. 1の機器を標準とした場合

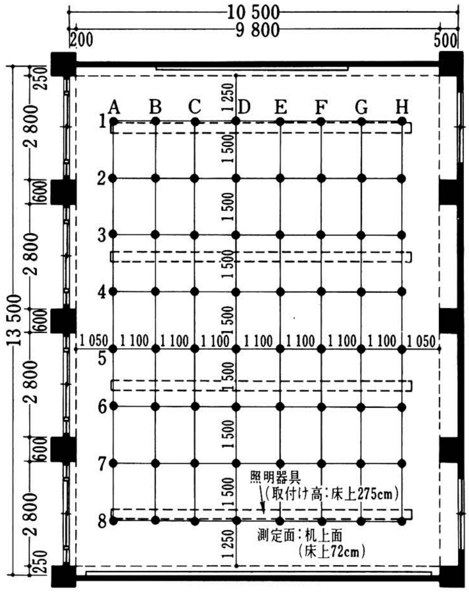


図3.1.2 照度測定点の選定例

表3.1.5 測定結果の記録例

日時 1981.10.6　　点灯条件 全列点灯

場所 B－304教室　　照明器具 H型2灯用（直付）

測定者 R.S.，T.N.　　ランプ FLR40SW

測定器 No.3　　（交換日 1980.2.21）

（補正係数 0.95）

測定点	第1回	第2回	第3回	平均
A－1	243	237	241	240
2	200	205	203	202
3	225	228	224	226
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
B－1	259	261	266	262
2	235	235	232	234
3	243	246	243	244
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

5.2.1　昼光率の測定

測定室・照度計などは第1回演習に使用したものと同一のものを用いる。

1）室内測定点の選定

窓に垂直な方向を基準とし，窓の中心線および窓端（または柱中心）の位置で奥行方向に測定点を選定する。その間隔は窓に近い部分では密に，室奥部分では粗に0.5〜2m程度に設定すればよい。図3.1.3に一例を示す。

測定面は机上面または机上面と同じ高さに設定する。

2）全天空照度の測定位置

周囲に測定の障害となる建物や樹木等のない場所を選定する（例えば，建物の屋上や運動場などが適当である）。

3）測定の手順

① 時刻合わせ

ストップウォッチ・時計などによって，野外測定班と室内測定班との間で測定開始時刻および測定間隔を定めておく（測定間隔は開始後15秒ごと程度が適当と思われる）。

② 室内昼光照度の測定

野外測定班が測定を開始する時刻を過ぎてから照度測定を開始する。測定点に受光部を置き，①で定めた測定時刻に合わせて指示値を読み取りその時刻および測定値を記録する。測定点の移動に要する時間は①の測定間隔と一致させる必要はないが，天候の変動による誤差を避けるため敏速に測定を行うこと。

③ 野外での測定

受光部を水平に設置し，必要があれば倍率フィルタを用いて測定レンジを選定する。

①で定めた時刻より測定を開始し，一定の間隔で指示値を読み取り記録する。晴天の場合は直射光が受光部に入射しないよう適宜しゃへいする（写真3.1.2参照）。

4）測定結果の記録

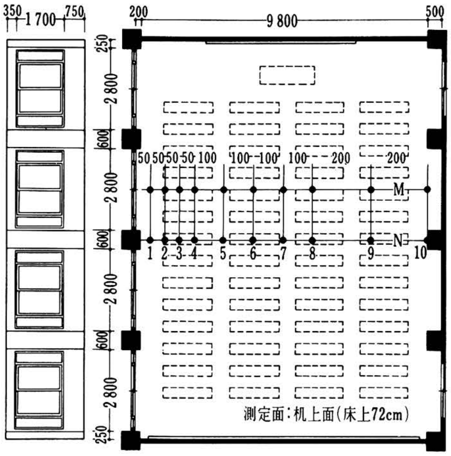


図3.1.3　室内照度測定点の選定例

表3.1.6　測定結果の記録例（室内）

日　時　1981.10.13　　測定者　K.I，K.M
天　候　くもり　　測定器　4398
場　所　B-304教室　　（補正係数　1.0）

測定点	第1回 測定値	第1回 時刻	第2回 測定値	第2回 時刻	備考
M－1	2180	13°30′30″	1960	14°03′00″	
2	1170	32′00″	1230	04′00″	
3	675	33′15″	840	05′15″	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
N－1	452	13°46′00″	445	14°14′45″	
2	700	47′15″	662	15′45″	
3	730	48′45″	568	17′00″	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	

表3.1.7　測定結果の記録例（屋外）

日　時　1981.10.13　　測定者　T.N，R.S
天　候　くもり　　測定器　4396
場　所　B棟屋上　　補正係数　1.03
フィルタ倍率　100

時刻	測定値	備考
13時30分00秒	151	
15	153	
30	155	
45	149	
31　00	142	
15	139	
⋮		

測定条件・測定結果など表3.1.6および表3.1.7にならい必要事項を記録する。

6　レポートのまとめ方

6.1　器差の検討

測定結果より各照度計の標準照度計に対す

る補正係数を求める。以後すべての測定結果はこの補正係数を乗じた値で整理する。係数は3回の測定の平均値を求め，小数点以下2けたに丸める（表3.1.4参照）。

6.2 人工照明による照度分布

測定点ごとに3回の測定値の平均値を求め使用照度計の補正係数を乗じて照度を得る。

得られた結果を図3.1.4の例のように平面図中の測定点に記入し，さらに平均・最大・最小の各照度を記録する。平均照度の算定方法にはいろいろの方式があるが，次式によって求めてもよい。

$$E_m = (\Sigma E_i S_i) / (\Sigma S_i) \qquad (3.1.2)$$

ここで，E_mは室内の平均照度(lx)，E_iは各測定点の照度(lx)，S_iは各測定点を中心とする区画の面積(m²)である。

考察の要点

(1) 照度基準との比較

(2) 照度分布の評価

(3) 点灯条件による分布の差の検討

(4) 光束法による平均照度の計算および実測値との比較

ただし，(3)(4)については省略してもよい。

6.3 全天空照度の変動

測定結果に補正係数を乗じて各時刻での照度を求め，時刻に対する全天空照度の変化を

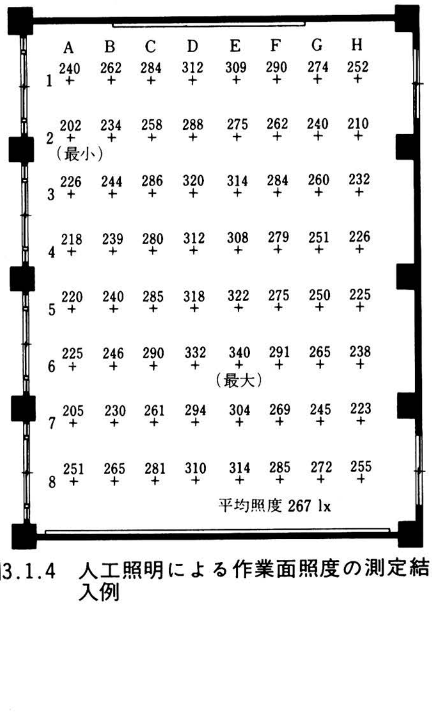


図3.1.4 人工照明による作業面照度の測定結果記入例

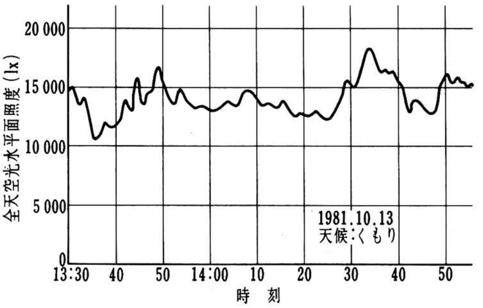


図3.1.5 全天空照度の時刻変化の例

図3.1.5の例にならい図示する。特に変動の激しい場合はその原因を注記する。

6.4 作業面の昼光率分布

室内昼光照度の測定値に補正係数を乗じて各測定点における昼光照度E_iを求める。次に全天空照度E_sの測定記録より同一時刻のE_sを用いて昼光率$D(=E_i/E_s)$を計算する。2回の測定値から得たE_i/E_sの平均値を求めその点における昼光率とする。各測定線上での奥行方向への昼光率分布図を図3.1.6にならい作成する。

考察の要点

(1) 昼光率分布の特性

(2) 昼光率の予測計算と実測値との比較

(3) 作業面の昼光率分布図（コンターライン）の作成および均斉度の評価

(4) 併用照明時の照度分布の予測

ただし，(3)は少なくとも人工照明の場合と同数の測定点を必要とする。(2)～(4)は省略してもよい。

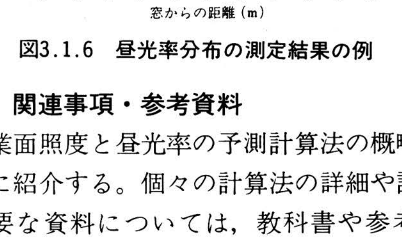
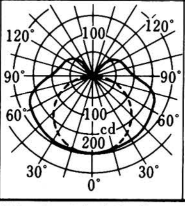


図3.1.6 昼光率分布の測定結果の例

7 関連事項・参考資料

作業面照度と昼光率の予測計算法の概略を簡単に紹介する。個々の計算法の詳細や計算に必要な資料については，教科書や参考書

表3.1.8 照明率表の一例

照明器具	配光曲線**（ランプ光束 1 000 lm）	保守率* 器具間隔 最大限	反射率 天井	80%			70%			50%			30%		0%	B Z 分類 器具効率 下向光束比 等価発光面積(cm²)
			壁	50	30	10	50	30	10	50	30	10	20	10	0	
			床	10			10			10			10		0	
			室指数	照明率												
天井じか付け形（露出逆富士形）		保守率	0.6（J）	.35	.28	.23	.34	.27	.22	.32	.26	.21	.25	.21	.18	BZ6
		良 .80	0.8（I）	.43	.36	.30	.42	.35	.29	.39	.33	.28	.31	.27	.24	
		普通 .75	1.0（H）	.50	.42	.36	.48	.41	.35	.45	.39	.34	.37	.32	.29	器具効率 89%
		不良 .70	1.25（G）	.55	.48	.42	.54	.47	.41	.50	.44	.39	.41	.37	.33	
			1.5（F）	.59	.52	.46	.57	.51	.45	.53	.48	.43	.45	.41	.36	下向光束比 82%
		器具間隔	2.0（E）	.65	.59	.53	.63	.57	.52	.59	.53	.49	.50	.46	.41	
		最大限	2.5（D）	.69	.63	.58	.67	.61	.56	.62	.58	.53	.54	.51	.45	等価発光面積
		1.4H	3.0（C）	.73	.67	.62	.70	.65	.60	.65	.61	.57	.57	.54	.48	=下方投影面積
			4.0（B）	.76	.72	.67	.74	.69	.65	.69	.65	.62	.61	.58	.52	×0.39
			5.0（A）	.79	.75	.71	.76	.72	.69	.71	.68	.65	.64	.61	.55	

* 保守率（良＝塵埃少なく，保守の良い場合，普通＝普通の場合，不良＝塵埃多く，保守の悪い場合）
** 配光曲線の実線は，管軸に垂直な鉛直面内（横方向）の配光，点線は管軸に平行な鉛直面内（縦方向）の配光

出典：照明設計（設計計画パンフレット23）

類[2),3),5)]を参照されたい。

7.1 作業面平均照度の計算法

教室や事務室などの比較的広い室で，照明器具が規則的に分散配置されている場合の作業面の平均照度を求める計算方法で一般に光束法とよばれている。

床上75～85cmの高さの水平面として定義される作業面の平均照度 E (lx) は，

$$E=\frac{N\cdot F\cdot U\cdot M}{A} \qquad (3.1.3)$$

ここで，N はランプの総数（本），F はランプ1本当りの光束(lm)，U は照明率，M は保守率，A は床面積(m^2)である。

照明率 U はランプから出る全光束のうち，器具での損失や室内面での相互反射を経て最終的に作業面に入射する光束の割合を表す。この U の値は器具の効率，配光，室の形状，室内面の反射率によって異なるが，個々の器具の照明率は表3.1.8のように照明器具のメーカーによって公表されており，室の反射率と室指数から求めることができる。

室指数 k は，

$$k=\frac{l\cdot w}{H(l+w)} \qquad (3.1.4)$$

ここで，l は室の奥行，w は室の幅，H は作業面から照明器具までの高さである。

7.2 昼光率の計算法

昼光率は2.2で述べたように，直接昼光率 D_d と間接昼光率 D_r とに分離して計算する。

7.2.1 直接昼光率の計算法

計算にあたって直射日光は考慮せず，かつ天空輝度は一様と仮定する。直接昼光率 D_d は，

$$D_d=\tau m R\sum_i\left(\frac{L_i}{L_s}\cdot U_i\right) \qquad (3.1.5)$$

ここで，τ は窓材料の透過率，m は窓材料の汚染を考慮した保守率，R は窓面積有効率，L_s は天空の平均輝度(cd/m^2)，L_i は窓材料を通さないで見たときの窓外の各部分の輝度(cd/m^2)，U_i は各部分の立体角投射率である。

7.2.2 立体角投射率

光源面 S による P 点の立体角投射率 U は図3.1.7のように，P を頂点とし S を底とする錐体を P を中心とする球で切り取り，この面積 S' を P 点がある受照面 T に垂直投象して得られる面積を S'' とすれば，S''/(半球の底面積) として得られる。すなわち，球の半径を1とすれば，

$$U=S''/\pi$$
$$=\int_S\frac{\cos\theta\cos i}{\pi r^2}ds \qquad (3.1.6)$$

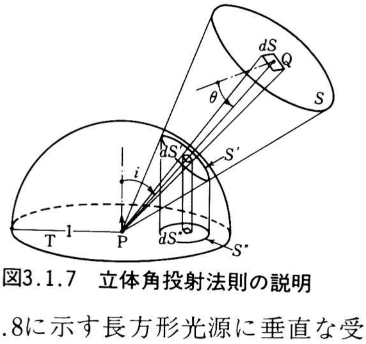


図3.1.7 立体角投射法則の説明

図3.1.8に示す長方形光源に垂直な受照面上のP点の立体角投射率 U_v は，窓を光源とした場合の作業面上の点Pにおける立体角投射率に相当する。この U_v の値は前述の立体角投射の法則を用いて，

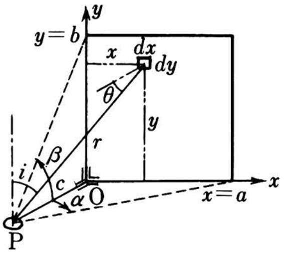


図3.1.8　長方形光源と垂直な受照面

$$U_v=\int_o^a\int_o^b \frac{cy}{\pi(x^2+y^2+c^2)}\,dydx$$

$$=\frac{1}{2\pi}\left(\tan^{-1}\frac{a}{c}-\frac{c}{\sqrt{c^2+b^2}}\tan^{-1}\frac{a}{\sqrt{c^2+b^2}}\right) \qquad (3.1.7)$$

なお，(3.1.7)式の U_vの値を簡易に求めるために図3.1.9のような算定図表が種々作成されている5)。

7.2.3　間接昼光率の計算法

間接昼光率は窓から入射した光が室内表面で１回以上反射してから受照面に入ることによって生ずる。その精度の良い解法は繁雑であるので，ここでは室内全面の間接昼光率を一様と仮定した略算法を示す。ただしこの方法では，特に奥行の深い室では大きく見積る危険があるので注意しなければならない。間接昼光率 D_rは，

$$D_r=\frac{F_d\cdot\rho_m}{S_m(1-\rho_m)E_s} \qquad (3.1.8)$$

ここで，S_mは室内全表面積(m²)，ρ_mは室内平均反射率，F_dは窓から室内に入射する光束(lm)，E_sは全天空照度(lx)である。

F_dは窓面外側における鉛直面の昼光率（窓面昼光率）を D_wとすれば，

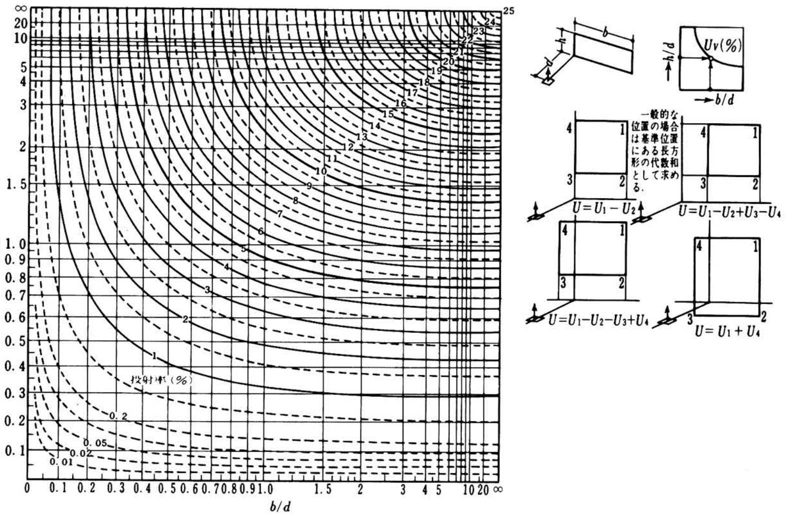
$$F_d=\tau mRD_wE_sS_o \qquad (3.1.9)$$

ここで，τ，m，R は(3.1.5)式参照，E_sは全天空照度(lx)，S_oは窓面積(m²)である。

D_wは簡易には，水平線以上の天空の輝度に対する水平線以下の地面等の輝度の比を0.1と仮定して0.55とすればよい。

文　献

1）JIS Z 9110―1979 照度基準
2）日本建築学会編：採光設計，設計計画パンフレット16，彰国社，p.12，1963.9
3）日本建築学会編：照明設計，設計計画パンフレット23，彰国社，p.55，1975.9
4）伊藤克三・大野治代：天空輝度の地域別設計用標準値に関する研究，日本建築学会論文報告集229号，p.85～91，1975.3
5）日本建築学会編：建築設計資料集成，1・環境，丸善，p.71～88，1978



出典：建築設計資料集成，１・環境

図3.1.9　立体角投射率算定図の一例およびその使用法

3.2　輝度の測定

1　演習の目的

主要な測光量の一つとしての輝度の概念を明確に理解し，輝度計によるその測定と結果の分析を通じて，照明視環境の設計や評価における輝度の役割を知る。また，輝度の概念を展開して，アパレント・ブライトネスの把握，反射率の簡易測定，光源のグレア評価など輝度に関連する事項に対する知識を深める。

2　基礎事項

2.1　測光量としての輝度

直接光を発する光源面，他からの光を反射する反射面，他からの光を透過する透過面などをある方向から見たとき，その面がどのくらい明るいかを示す測光量が輝度である。輝度は，光を発散する1つの面について，方向ごとに定まる量であるから，ある面への入射光束を入射する方向とは無関係に包括的に測る照度とは，根本的に発想の異なる測光量である。

すなわち，輝度には，居住生活における環境の明るさ感と直接的に結び付く有用な側面があるが，方向性があり，ある面や光源について一義的に定まらないので，扱いは複雑にならざるを得ない。照明視環境の設計や評価に主として照度が用いられてきた理由の一端もここにある。しかし，人間の要求に根ざしたきめ細かな照明視環境の構成には，輝度の果たす役割は大きく，これに対する十分な知識と理解が必要である。

2.2　輝度の定義

図3.2.1に示す面 S 上のある点における面の法線と角度 θ をなす方向の輝度 L (cd/m²)

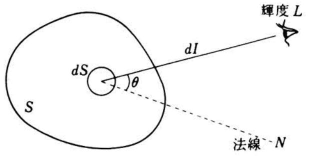


図3.2.1　輝度の定義

は，その点を含む微小面積 dS (m²)の同じ方向の光度を dI (cd)とすれば，

$$L=\frac{dI}{dS\cdot\cos\theta} \tag{3.2.1}$$

で定義される。すなわち，ある面のある方向の輝度とは，面のその方向の単位投影面積当り・単位立体角当り出る光束である(表3.1.1参照)。

見られる方向の光度が一様に分布している場合，あるいは平均輝度を求める場合には，

$$L=\frac{I}{S\cdot\cos\theta} \tag{3.2.2}$$

で輝度が求まる。ただし，$S=\int dS$ である。

2.3　輝度の目安

裸の電球は明るく輝いて見えるし，夜空は暗く見える。周辺環境の中で対象物がどの範囲の輝度をとり得るかを把握しておくと，測定の際の目安として有用である。図3.2.2は輝度レベルの目安を示す例である。

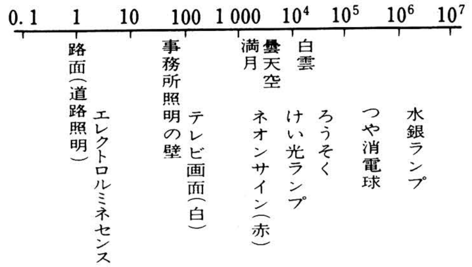


図3.2.2　輝度の目安

2.4　均等拡散面

発光面・反射面・透過面などで，どの方向から見ても輝度の等しい面を均等拡散面という。これは一種の理想状態であり，完全にこの条件を満たす面は現実に存在しないが，青空，一様な曇天，けい光ランプ，石こうプラスターの壁など，近似的に均等拡散面と仮定できる面も多い。均等拡散面では，輝度 L と光束発散度 M (rlx)・照度 E (lx)との対応が可能となるので，この仮定に基づいて多くの照明計算がなされる。

以下にその関係を説明する。図3.2.3に示す均等拡散面上の微少面 dS の法線方向の光度を dI_n，θ 方向のそれを dI_θ とすれば，この面

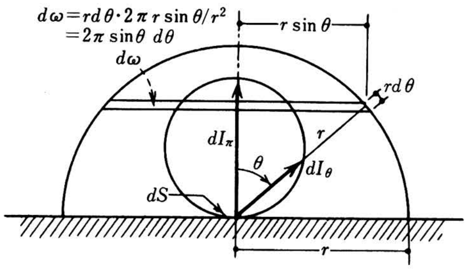


図3.2.3 均等拡散面

の輝度が一定であることと，輝度の定義から，

$$L=\frac{dI_\theta}{dS\cdot\cos\theta}=\frac{dI_n}{dS}\ (一定)$$

(3.2.3)

$$\therefore\quad dI_\theta=dI_n\cdot\cos\theta=L\cdot dS\cdot\cos\theta$$

（ランベルトの余弦則）(3.2.4)

次に，dI_θ を面上の全立体角 2π で積分すれば dS から出る光束 dF が求まる。すなわち，

$$\begin{aligned} dF &= \int_{2\pi} dI_\theta d\omega \\ &= 2\pi\cdot L\cdot dS\cdot \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin\theta\cdot\cos\theta\cdot d\theta \\ &= \pi\cdot L\cdot dS \end{aligned} \quad (3.2.5)$$

$$\therefore\quad M=\frac{dF}{dS}=\pi L \quad (3.2.6)$$

また，微小面 dS の反射率を ρ とすれば，$M=\rho E$ であることから，

$$L=\frac{\rho}{\pi}E \qquad \therefore \pi L=\rho E \quad (3.2.7)$$

となる。

2.5 その他の基礎事項

2.5.1 順応とアパレント・ブライトネス

輝度は見えの明るさに，より直接に，結び付く測光量ではあるが，明るさ感にそのまま対応するものではない。人間の目には，夜間と昼間など外界の明るさ変化に応じてその感度を変える順応現象があるからである。すなわち，同じ輝度を持つ対象であっても，順応輝度の高い昼間よりも順応輝度の低い夜間のほうが明るく見える。

順応のレベルを考慮して人間が実際感ずる明るさを尺度化したものがアパレント・ブライトネスである。図3.2.4はその一例で，視対象の輝度と順応輝度の変化に応じて規定される見かけの明るさとの関係を示している。同

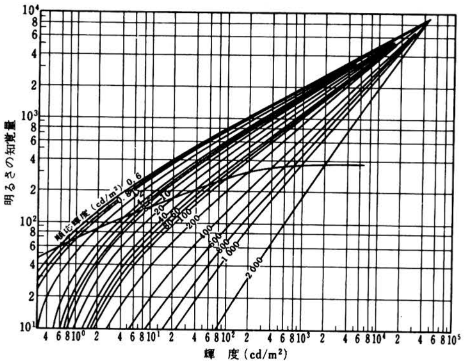


図3.2.4 輝度とアパレント・ブライトネス(1967, 小林)

じ輝度の視対象でも，順応輝度が小さくなるほどアパレント・ブライトネスは大きくなることがわかる。

2.5.2 グレア(眩輝)

視野の中に高輝度の光源などが入って視対象の見やすさが損なわれる現象を不能グレア，必ずしも視力低下は引き起こさないがまぶしさにより不快を感じる現象を不快グレアという。不能グレアが問題となるのはかなり極端な状況であり，通常の環境の計画では不快グレアが重視される（7.4参照）。

不快グレアの評価法には，さまざまな考えに基づく提案がある。図3.2.5はその一例で，異なる方向から見た光源の輝度をある限界値以下に規制するものであり，輝度制限方式とよぶ。輝度の限界値は居住者の要求のレベルを示す質的クラスと作業面照度の組合せから選択するようになっている。図3.2.6は視線に対する器具の配置と器具の配光によって使い分ける2組の限界線である。

鉛直角 γ が45°～90°の範囲の輝度が規制の対象となり，γ=55°, 65°, 75°, 85°の方向の輝度を測定して検討する。側面から発光する器

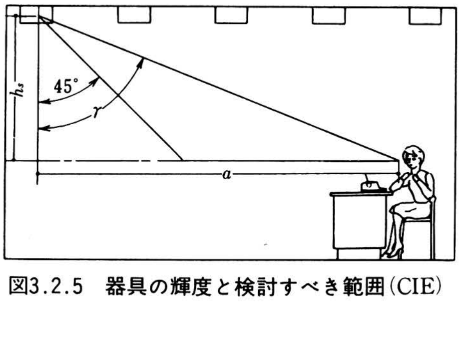
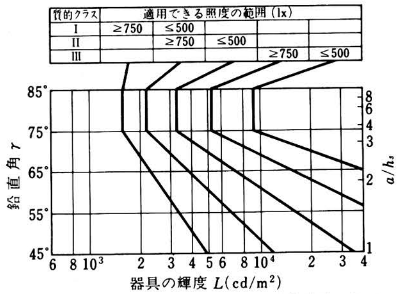
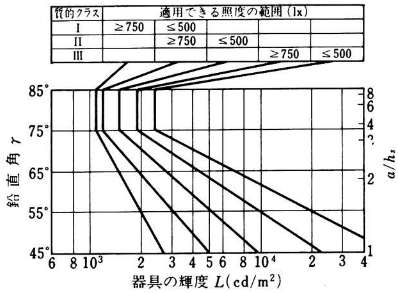


図3.2.5 器具の輝度と検討すべき範囲(CIE)

具と発光しない器具とを区別する。質的クラスIIは，平均的な要求レベルを示し，それより高い要求と低い要求にはそれぞれ質的クラスI，IIIが対応する。



(a) 視線に平行に取り付けられた線状器具および側面が発光していない器具に対する限界線



(b) 長辺が視線に直角に取り付けられた側面が発光している器具に対する限界線

図3.2.6 グレアの評価法（輝度制限方式）(CIE)

3 測定の準備

3.1 輝 度 計

ある限られた視角からくる光のみを受光素子に入射させて測定する計測器を輝度計とよぶ。受光素子としては，比較的大型の精密輝度計では光電子増倍管，実用的な小型簡易輝度計ではシリコン・フォトセルが用いられる。図3.2.7は輝度計の例とその光学的原理である。

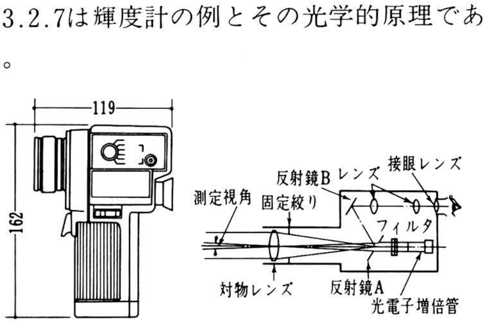


図3.2.7 輝度計の例と光学的原理

市販の輝度計では，視角は0.1°～2°，測定範囲は10^{-4}～10^{6}cd/m²程度である。演習では，室内の比較的近距離にある視対象を現場で測定するので，視角0.5°程度のスポット型簡易輝度計が便利である。

3.2 反射率標準板

反射率の比較測定を行うために反射率既知の標準板を用意する。精密な反射率標準板としては，酸化マグネシウム板が用いられるが，特殊陶製のものも販売されている。標準板の大きさによって輝度測定の距離が左右されるが，一般には，直径数cmの円形，数cm角の正方形のものが用いられる。

3.3 そ の 他

輝度計の位置決めを助ける三脚・雲台，視対象の詳細，明るさの分布などを記録するためのインスタントカメラ（ポラロイドカメラなど），測定点と照明器具・視対象との位置関係を測定するための巻尺などを必要に応じて用意する。

4 輝度計の取扱い方

使用する輝度計により，それぞれ取扱い方が異なるので，取扱い説明書などでの正しい使用法の理解が重要であるが，一般的な操作手続き，注意点は以下のとおりである。

4.1 測定前の準備

1）バッテリー・チェックをして電池の寿命を確かめる。必要ならば，適切な電池に交換する。

2）正確な測光・ピント合せができるように接眼レンズ・対物レンズをよく清掃する。

3）ゼロ点調整を何度も繰り返して，輝度計を安定な状態にしておく。

4.2 測定時の注意

1）視対象によくピントを合わせ，ファインダー内の指定された受光領域に正しく対象をとらえる。

2）できるかぎり受光領域に明るさの異なる複数の領域をつくらぬようにする。

3）目盛りや数値を正しくすばやく読み取る。特に，測定値が変動している場合，変動の平均値を正しく判断する必要がある。

4）輝度計に強い振動や衝撃を与えない。

5）測定範囲以上の強い光を与えない。太陽を直接測定するなどは，測定者の目に害を及ぼす恐れがあるので特に注意する。

6）測定終了時には，受光素子の保護のため忘れずにスィッチ類を切るとともに，キャップをして収納する。

5 演習の進め方

5.1 第1回演習

測定グループ全員が輝度計の扱い方，輝度の変化の様相を体験するために測定練習を行う。明るさの異なる視対象の輝度を測定して結果を比較検討する。

主として人工光源により照明された室内環境の輝度を測定して，輝度分布を調査する。測定した輝度をアパレント・ブライトネスに変換して，輝度とアパレント・ブライトネスの対応関係の概略を把握する。

5.1.1 測定練習

1）測定者間の合意

測定グループ全員で同一の輝度計を使用して，明るさの異なる視対象（窓・人工光源・天井・壁・床・机・作業面など）の輝度を測定し，記録する。結果を比較検討して，測定値の大きさや変化の仕方を実感する。同一視対象の測定値に測定者による誤差が見られる場合には，測定点の取り方，輝度計の使い方，測定値の読み方など，その原因を確認して，合意をつくり出しておく必要がある。

2）器差の検討

複数の輝度計を使用する場合においては，明るさの異なる数種の同一視対象をそれら複数の計器で測定し，標準となる輝度計に対する補正係数など器差を調べておく必要がある。

表3.2.1は，測定練習の結果の一例である。

表3.2.1 輝度の測定練習の結果例

（単位：cd/m²）

測定対象＼測定者	窓	光源	天井	壁	床	机	作業面
A	3 360	1 720	110	43	96	50	100
B	3 100	1 690	115	43	100	60	130
C	3 400	1 700	120	40	100	55	115
平均	3 287	1 703	115	42	99	55	115
標準偏差	163	15	5	2	2	5	15

（単位：cd/m²）

測定対象＼測定器	窓	光源	天井	壁	床	机	作業面
A	3 300	1 700	110	45	100	50	100
B	3 340	1 870	127	49	109	54	112
B/A	1.12	1.10	1.15	1.08	1.09	1.08	1.12
C	3 168	1 598	103	43	93	48	94
C/A	0.96	0.94	0.94	0.95	0.93	0.96	0.94

Bの補正係数（B/Aの平均）1.106　Cの補正係数（C/Aの平均）0.946

5.1.2 室内環境の輝度測定

1）測定位置と主方向の選定

床面から1.5m（立っている人の目の高さ）の位置に輝度計を設置する。可能であれば傾斜角度目盛付きの三脚等位置を厳密に規定する装置の使用が望ましい。選定した測定位置は，測定対象室の平面図等に主方向とともに記録する。

2）スケッチ・パースの作成

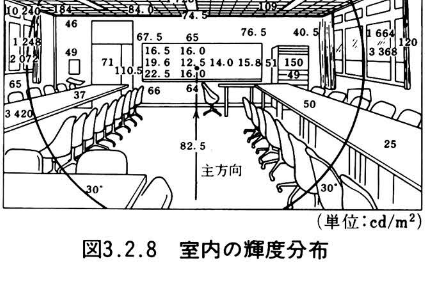
測定位置から主方向を見た視野のスケッチ・パースを描く。視野内の主な視対象を含め，できるだけ詳細で正確な透視図が望ましい。インスタントカメラが利用できれば，視対象の位置とともに明るさの分布の概略が知られるので便利である。

3）測定方法

測定位置から定めた視野範囲の視対象の方向へ輝度計を回転して輝度を測定する。主要な視対象について，明るい対象，中間の対象，暗い対象を含めて片寄らないよう測定点を選択する。同一の対象についても，明暗2～3点の測定を行う。また，視線から30°以内の視野については，他より多くの測定点をとる。

4）測定結果の記録

測定結果は，スケッチ・パース（あるいは



（単位：cd/m²）

図3.2.8 室内の輝度分布

写真）上の該当位置に記入する。測定時刻，測定者（グループ）名，測定対象室，照明器具や光源の種類，使用輝度計，その他の周辺情報も合わせて確認し，記録しておく。図3.2.8は測定結果の一例である。

5.2　第２回演習

輝度測定を応用して，室内表面の反射率の近似値を測定する。また，光源の輝度を測定して，光源のグレア評価を行う。

5.2.1　反射率の測定

１）測定の原理（2.4参照）

室内表面の反射率を現場で正確に測定することは難しいが，表面を均等拡散面と仮定することによって，輝度を媒介にして反射率の近似値を知ることができる。すなわち，均等拡散面における照度と輝度の関係(3.2.7)式から，測定点の照度Eと輝度Lがわかれば反射率ρが求まる。また，同一照度下では，反射率は輝度に比例するから，ある点の輝度Lを測定すると同時にその点の近傍に置いた反射率標準板（反射率ρ_o）の輝度L_oを測定すれば

$$\rho=\rho_o\cdot L/L_o \qquad (3.2.8)$$

から反射率ρが求まる。

２）測定点の選定

室内の主要表面で，仕上げの異なる面を対象とする。面の大きさに応じて複数の測定点を決める。

３）測定方法

輝度の測定は，なるべく各面の法線方向から行う。測定点の輝度を測定すると同時にその点のごく近傍に置いた反射率標準板の輝度を測定する。対象面に細かいパターンがあって明暗の異なる場合は，平均的な輝度が測定できるよう十分大きな距離をとって測定する。しかし，小さな反射率標準板を使用する場合には，測定距離に制約が生ずるので，多数の測定点をとって，平均的な反射率を求めることになる。

４）測定結果の記録

表3.2.2に測定結果の一例を示す。

表3.2.2　反射率の測定結果例

測定対象	測定点	L (cd/m²)	L_o (cd/m²)	L/L_o	ρ_o	ρ	$\bar{\rho}$
壁面 1	1	27	43	0.631	0.976	0.615	0.583
	2	27	45	0.603		0.589	
	3	27	49	0.558		0.544	
壁面 2	1	16	35	0.456	0.976	0.445	0.432
	2	17	39	0.430		0.420	
	3	20	45	0.441		0.430	
黒板面	1	6	25	0.231	0.976	0.225	0.221
	2	6	26	0.220		0.214	
	3	7	29	0.230		0.224	

5.2.2　光源のグレア評価

１）測定点の選定（図3.2.5参照）

まず評価の対象となる照明器具(光源)を数個選択する。通常各器具を見る方向で床面から1.2m（作業者の目の位置）の高さで，器具を見る鉛直角が55°，65°，75°，85°に相当する位置を机の配置も考慮しながらあらかじめ測定して決めておく。器具の高さと部屋の大きさとの関係ですべての鉛直角についての検討ができない場合もある。

２）測定方法

定めた各測定位置から器具の輝度を測定する。光源が直接見える場合には光源面の反射面や透過面のみが見える場合にはそれらの面の一番明るい部分の輝度を測定する。

また，平均照度などの形で対象室の照度を測定しておく。ここでの照度は，適用できる照度範囲が500lx 以下の低レベルであるか，750lx 以上の高いレベルであるかをおおまかに判別するためのものである。

３）測定結果の記録

測定した輝度値は，図3.2.6に相当する輝度の限界線を示す図にプロットする。その際に，視線に対する器具の形状，側面からの発光の有無により，２種の限界線のいずれを適用するかを決める。縦横比２：１以上のものは線状器具とみなし，埋込み器具や側面高さが3 cm 以下か側面輝度が750cd/m²以下の器具は側面非発光器具とする。

実際に測定された器具の輝度のすべてが，

限界線以下であれば不快グレアは生じないと判定する。

6 レポートのまとめ方

測定結果とそれに関する考察を6.1～6.4の項目別にまとめて，測定グループごとにレポートを作成する。

6.1 測定練習

6.1.1 測定結果

表3.2.1の例に従って，複数の測定者による測定値の一覧表を作成し，各測定値について平均値と標準偏差を算出する。器差に関する測定を行った場合にも，同様の処理を行って報告する。

6.1.2 考察

測定結果について，以下の点を参考にして考察する。

1）測定者，測定器の違いによって測定値にどのような差異が生じたか。

2）大きな差が生じた場合，その原因はどのような点にあり，それをどのように解決したか。器差をどのように補正したか。

3）その他測定を体験しての問題点，感想など。

6.2 室内環境の輝度測定

6.2.1 測定結果

図3.2.8の例にならって，測定結果をスケッチ・パース（あるいは写真）上に記入したものを作成する。スケッチ・パース上には視点と主方向から30°の視野範囲を示す円を描く。

6.2.2 順応輝度の算出

通常の視作業時のように，注視点が次々と移動する場合の順応輝度を正確に算出する方法はまだないが，ここでは，視線から30°の視野に目が順応しているものとし，円内に含まれている測定値の平均値を算出して，仮にこれを順応輝度とする。

6.2.3 アパレント・ブライトネスへの変換

算出した順応輝度と図3.2.4を用いて，測定した輝度をアパレント・ブライトネスに変換する。アパレント・ブライトネスの値は，輝度測定値を記入したスケッチ・パース上に輝度値と並記する。用いた順応輝度も記入する。

6.2.4 推奨輝度比との比較

視野内の輝度の分布は視作業の能率や疲労に影響する。そこで，視野内に生ずる輝度比を必要に応じてある限度内に制限する場合があり，表3.2.3はその一例である。

輝度の測定結果から作業対象物や照明器具とその周辺部との輝度比を計算して，事務所の推奨輝度比などと比較してみる。

表3.2.3 推奨輝度比の例（IES アメリカ）

輝度比の種類	住宅	事務所	工場
作業対象と周囲との輝度比	3：1～1：1	3：1～1：1	3：1～1：3
作業対象とやや離れた面との輝度比	5：1～1：5	5：1～1：5	10：1～1：10
照明器具・窓とそれに隣接する面との輝度比	—	—	20：1～1：1

6.2.5 考察

以上の結果を，以下の点を参考にして考察する。

1）測定した視野内で極端に明るさの異なる面が隣接する部分はあるか。あれば，それはどこか。

2）視野全体として明るさの分布は適当であるか。

3）不適当な部分を改善するには，建築的あるいは照明的にどう工夫すればよいか。

6.3 反射率の測定

6.3.1 測定結果

表3.2.2の例に従って，対象面の輝度測定値よりその反射率を算出する。可能な部分については，結果を輝度測定用のスケッチ・パースに記入する。

6.3.2 反射率の推奨値との比較

適当な輝度分布を得るためには，照明的要件のほかに室内の主要面や家具などの反射率

表3.2.4 反射率推奨値の例（IES アメリカ）

仕上面種別	住宅	事務所	工場
天井面	0.6 ～0.9	0.8 ～0.9	0.8 ～0.9
壁面	0.35～0.6	0.4 ～0.6	0.4 ～0.6
カーテン・壁掛	0.35～0.6	—	—
家具	—	0.25～0.45	—
機械設備	—	0.25～0.45	0.25～0.45
床面	0.15～0.35	0.2 ～0.4	0.2以上

の範囲やバランスが重要な役割を持っている。表3.2.4は反射率の推奨値の一例である。

反射率の測定結果を事務所の反射率の推奨値などと比較して，その差異や特徴を調べてみる。

6.3.3 考　　察

以上の結果を，以下の点を参考にして考察する。

1）測定した対象面で極端に反射率の異なる面が隣接する部分はあるか。あれば，それはどこか。

2）天井から壁・床へと下方の仕上げ面ほど反射率を低くして安定感を得る考え方があるが，測定した部屋についてはどうか。

3）反射率の分布を改善する必要はあるか。必要があるとすれば，どうするか。

6.4 光源のグレア評価

6.4.1 測 定 結 果

測定した照明器具ごとに，図3.2.6に示す輝度の限界線に測定値をプロットした図を作成する。図には，照明器具の詳細，器具と測定位置との関係を示す説明・略図などを付す。

6.4.2 考　　察

測定結果を以下の点を参考にして考察する。

1）さまざまな質的レベルをとる場合について，不快グレアの生ずる可能性はあるか。

2）不快グレアが生ずるとすれば，部屋のどの位置でか。

3）不快グレアを避けるためには，建築的あるいは照明的にどう工夫すればよいか。

7 関連事項・参考資料

7.1 天空の輝度分布

採光のための光源としての天空の輝度分布を知ることは，採光計算上重要である。天空の輝度は，季日・時刻・天候などによって絶えず変動しているので，定式化しにくいが，国際照明委員会(CIE)では，標準の天空輝度分布を幾つか提案している。

7.1.1 CIE 標準曇天空

濃い曇天空の輝度分布は晴天のそれに比して単純であり，天頂輝度を L_z，高度 h_o の天空

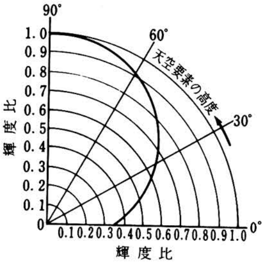


図3.2.9 CIE 基準曇天空

要素の輝度を L_o とすれば，輝度比 L_o/L_z は

$$\frac{L_o}{L_z}=\frac{1+2\cdot\sin h_o}{3} \qquad (3.2.9)$$

となる。この関係を図示すれば，図3.2.9のようになる。

7.1.2 CIE 標準晴天空

晴天空の輝度分布は，晴れぐあいや太陽の位置などが大きく影響して複雑である。天頂輝度を L_z，高度 h_o，天頂距離 ξ，太陽との角距離 γ の天頂要素の輝度を L_o，太陽の天頂距離を z とすれば，大気中での太陽光の散乱特性を表す標準散乱インディカントリックス $f(\gamma)$ と，ξ に係る関数 $\varphi(\xi)$ によって，輝度比 L_o/L_z は

$$\frac{L_o}{L_z}=\frac{f(\gamma)\cdot\varphi(\xi)}{f(z)\cdot\varphi(o)} \qquad (3.2.10)$$

となる。　この式による晴天空輝度分布の一例を図3.2.10に示す。

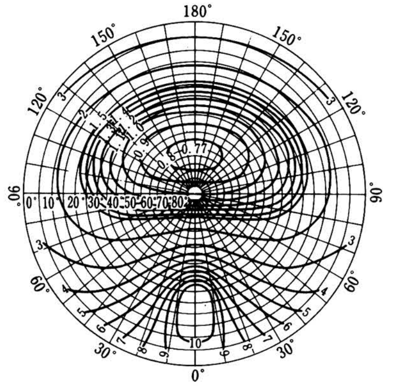


図3.2.10 CIE 基準晴天空（太陽光度30°）

7.2 明度と反射率の関係

アパレント・ブライトネスと輝度が直線的に対応しないのと同様に，同一の環境下における表面色の見えの明るさである明度と反射率も直線的には結び付かない。

図3.2.11は，マンセル・バリュー V と反射

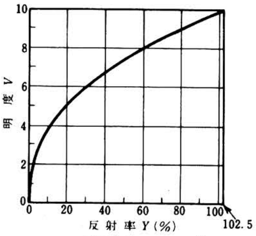


図3.2.11　明度と反射率

率 Y との関係を示す図である。$V=5$ は感覚的には中間の明るさであるが，反射率は50%ではなく19.77%に相当する。

この関係を利用すれば，マンセル色票との比色により，反射率の簡易測定が可能である。すなわち，測定対象の表面とマンセル色票を比較して，その表面と同一と思われる色票を探し出し，そのバリューから図3.2.11を用いて反射率に換算することができる。

7.3　グレア・インデックス方式

不快グレアの評価には，輝度制限方式の他に実験に基づいて作られた評価式による方式がある。その代表例は英国照明学会のグレア・インデックス方式である。個々の光源のグレア定数を G とすると

$$G=\frac{L_s^{1.6}\cdot\omega^{0.8}}{L_b\cdot P^{1.6}}\times 0.478 \qquad (3.2.11)$$

L_s：光源の輝度(cd/m²)
ω：光源の立体角(sr)
L_b：背景の輝度(cd/m²)
P：光源の位置係数，図3.2.12から $P=P(\theta,\ \varphi)/P(10°,\ 0°)$ として求める。

グレア・インデックスG.I.は，グレア定数 G から

$$\mathrm{G.I.}=10\log_{10}(0.5\times\Sigma G) \qquad (3.2.12)$$

として求まる。

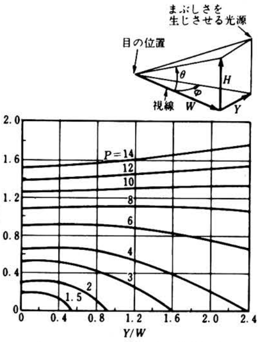


図3.2.12　位置係数の算定図

表3.2.5　グレア・インデックスとグレアの程度（IES イギリス）

グレア・インデックス	
	—ひどすぎる
28	—ひどすぎると感じ始める
	—不快である
22	—不快を感じ始める
	—気になる
16	—気になり始める
	—感じられる
10	—感じ始める
	—感じない

G.I.とグレアの程度との関係は，表3.2.5に示される。

一方，表3.2.6に示すように，作業種別や室別にその目的に応じ限界グレア・インデックスの形で許容値が与えられている。

表3.2.6　限界グレア・インデックス（IES イギリス）

建物名	作業または室の種別例	限界グレアインデックス
空港・バスステーション	受付・税関・入国手続，その他	22
	出札窓口	19
教会	教会主要部	16
製図事務所	製図板・一般	16
病院	訓練・リハビリテーション	16
	薬局	19
図書館	一般	19
博物館・美術館	一般	16
事務所	事務室一般・タイプ・事務機	19
	重役室・会議室	16
学校・大学	講堂	19
	教室	16
	美術教室	19
	実験室	19
診療所	診察室	16
電話交換局	交換機	13
	交換機（コードレス）	16

7.4　用語に関する注意

輝度の測定に関連して用いた用語については，いまだ確定していないものが幾つかあり，現在のところ統一のための努力がなされている。

1）均等拡散面

JIS Z 8113（照明用語）では，あらゆる方向に同一の輝度をもつ面を均等拡散面，均等拡散面のうち，反射率または透過率が1である理想的な面を完全拡散面としているが，従来は両者を合わせて完全拡散面とよんでいた。

2）不能グレア

disabilty glare の訳語として，不能グレア，減能グレア，視覚低下グレア，視力低下グレアなどさまざまな用語が使用されている。

文　献

1）松浦邦男：建築照明，p.229，1971
2）松浦邦男：建築環境工学 I，p.129，1974
3）照明学会編：屋内照明ガイド，p.203，1978
4）JIS C 7614 輝度測定法
5）日本建築学会編：建築設計資料集成 6（旧）p.53，設備原論，1969
6）日本建築学会編：建築設計資料集成，1・環境，p.74，1978

3.3 日照の測定

1 演習の目的

日照時間，天空率，天空比などの測定を魚眼レンズによって試みる。また，各種の射影形式についても理解を深める。

2 基礎事項

2.1 太陽の位置

観測地点を中心とする任意の半径の球面を天球という。太陽の位置は，太陽と観測地点を結ぶ直線とこの天球との交点の高度 h と方位角 A で示される。

観測地点の緯度を φ, 太陽の赤緯を δ, 真太陽時 U を時角に換算したものを t とすれば，太陽の位置(h, A)とこれらの関係は(3.3.1)～(3.3.5) の諸式で表される。真太陽時は，観測地点の経度を L, 日本における中央標準時を U_s, 均時差を e とすると(3.3.6)式で示される。真太陽時の1時間は時角で15°に相当する。

$$\sin h = \sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \cos t \tag{3.3.1}$$

$$\sin A = \frac{\cos\delta \sin t}{\cos h} \tag{3.3.2}$$

$$\cos A = \frac{\sin h \sin\varphi - \sin\delta}{\cos h \cos\varphi} \tag{3.3.3}$$

$$\cot A = \sin\varphi \cot t - \frac{\cot\varphi \tan\delta}{\sin t} \tag{3.3.4}$$

$$\cos h \cos A = \cos\delta \sin\varphi \cos t - \sin\delta \cos\varphi \tag{3.3.5}$$

$$U = U_s + \frac{L - 135^\circ}{15^\circ} + e \tag{3.3.6}$$

太陽の位置を計算で求めるには (3.3.1)～(3.3.5) の諸式のうち，適当なものを用いるが，一般には，太陽の高度 h は(3.3.1)式を用い，太陽の方位角 A は三角関数の主値の関係から，(3.3.3)式が便利である。いずれにしても三角関数の主値と正負に注意しなければならない。

太陽の高度 h, 太陽の方位角 A, 太陽の赤緯 δ, 時角 t の基準と符号は表3.3.1のようにする。

表3.3.1 太陽位置に関する基準と符号

項　目	記号	基　準	符　　号
太陽の高度	h	地平	天頂側を正 天底側を負
太陽の方位	A	子午線	天頂から見て時計まわりを正 天頂から見て反時計まわりを負
太陽の赤緯	δ	天球の赤道	天球の北極側を正 天球の南極側を負
時　角	t	子午線	午前を負 午後を正

2.2 太陽位置図

観測地点における任意の時刻の太陽の位置は，天球上の太陽の軌道円と時円との交点として求めることができる。この交点を天球上の方位円と高度円に照合して太陽の高度 h と方位角 A を知ることができる。

太陽の位置は，これらの天球上の諸円を二次元化(射影)して作図した図上で求めることができる。日照を取り扱う場合には，水平面または南面する鉛直面を射影面として水平面上より上方の半天球だけについて作図を行う。このように，天球上の太陽の軌道円とともに，時円，高度円，方位円を平面上に射影した図を太陽位置図という。

2.3 各種射影形式

一般に，日照の検討で用いる全天空や半天空の射影形式は正射影，等立体角射影，等距離射影，極射影である。

天球上の太陽の位置をP, 高度を h, 方位角を A, P の射影点を P_0, 天球の半径を R とすると，P_0と天球の中心 O との距離 r は射影形式によって異なる。すなわち，図3.3.1～図3.3.4に示すようであり，また，(3.3.7)式～(3.3.10)式で示される。ただし，いずれの射影形式でも，方位円の射影は中心 O と P_0 を通り，P と同一の方位をもつ直線であり，高度円は O を中心とする同心円である。

2.3.1 正 射 影

天球上の点を射影面に垂直に下ろす射影形式を正射影という。

$$r = R\cos h \qquad (3.3.7)$$

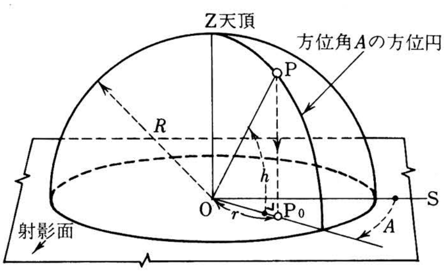


図3.3.1 正射影

2.3.2 等立体角射影

天球の中心に対する天球の部分の立体角とその部分の射影面積が比例するような射影形式を等立体角射影という。

$$r = \sqrt{2}\ R\ \sin(45^\circ - \frac{h}{2})$$

$$= R(\cos\frac{h}{2} \sin\frac{h}{2}) \qquad (3.3.8)$$

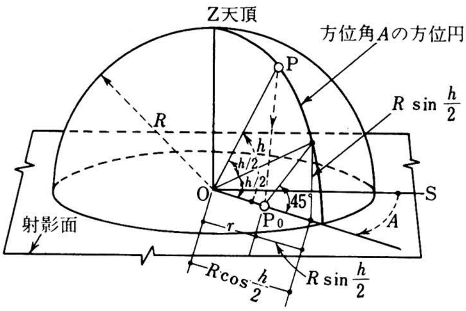


図3.3.2 等立体角射影

2.3.3 等距離射影

射影半径が天頂距離 $(90^\circ - h)$ に比例するような射影形式を等距離射影という。

$$r = R(1 - \frac{h}{90^\circ}) \qquad (3.3.9)$$

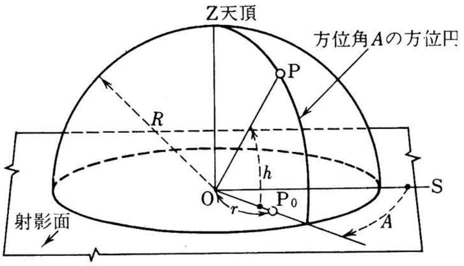


図3.3.3 等距離射影

2.3.4 極 射 影

天底 Z'を視点とし，天球上の点を天球の中

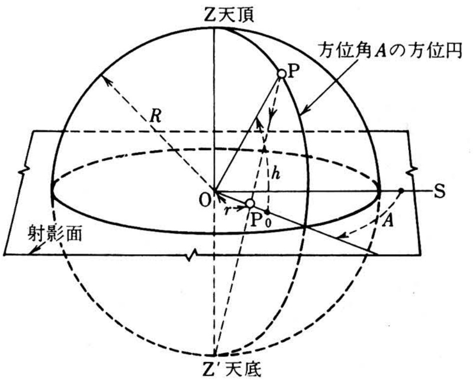


図3.3.4 極射影

心を通る水平面を画面として透視する射影形式を極射影という。

$$r = R\ \tan(45^\circ - \frac{h}{2})$$

$$= \frac{R\cos h}{1 + \sin h} \qquad (3.3.10)$$

図3.3.5(a), (b), (c), (d)に各射影形式による太陽位置図の例を示す。

2.4 天 空 率

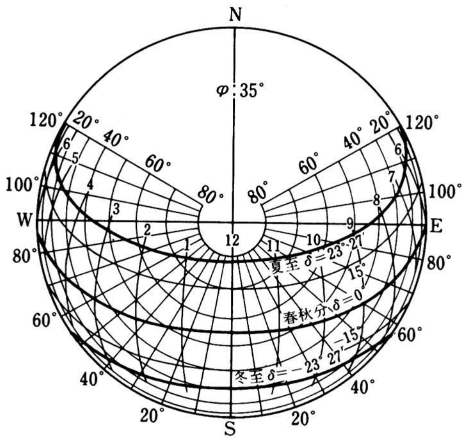
観測地点において，全天空と実際に見える天空部分を，水平面に正射影したときのそれぞれの射影面積の比，すなわち，天空に関する立体角投射率を天空率という。

天空率は，正射影形式の魚眼レンズで天空を撮影して，該当部分の面積を計測することによって求めることができる。また，正射影以外の射影形式の魚眼レンズによる写真でも，その射影形式のために作成された天空率算定図を用いて算定することができる。図3.3.6(a), (b)に点を用いて作成した天空率算定図の例を示す。

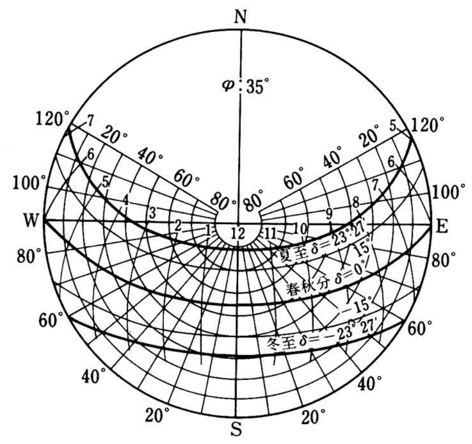
2.5 天 空 比

全天空の立体角，すなわち 2π に対する観測地点から見える天空部分の立体角の比を天空比という。

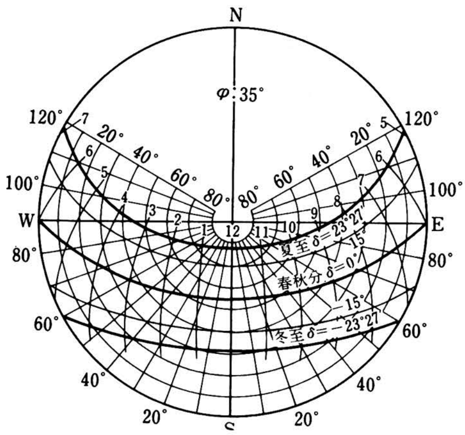
天空比は，等立体角射影形式の魚眼レンズで天空を撮影して該当部分の面積を計測することによって求めることができる。また，等立体角射影以外の射影形式の魚眼レンズによる写真でも，その射影形式のために作成された天空比算定図を用いて算定することができる。図3.3.7(a), (b)に点を用いて作成した天空比算定図の例を示す。



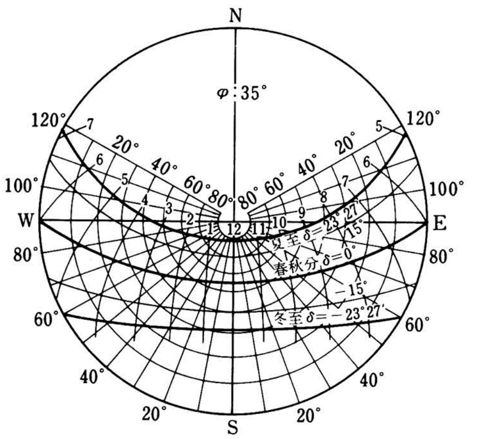
(a)　正射影



(b)　等立体角射影

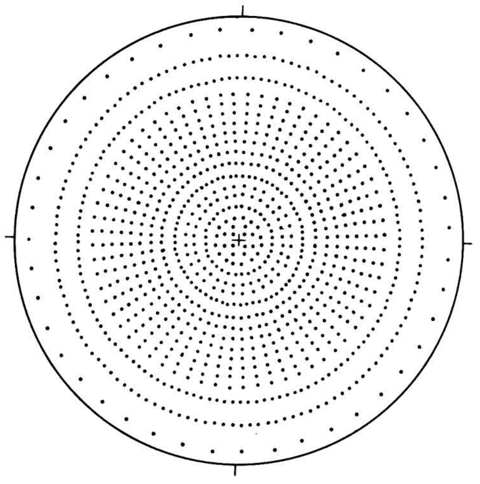


(c)　等距離射影

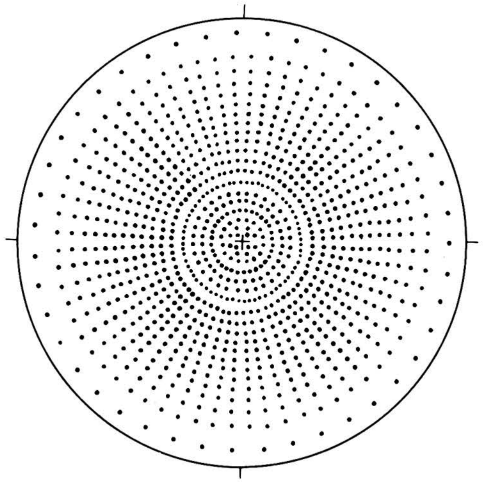


(d)　極射影

図3.3.5　各種射影形式による太陽位置図[1)]

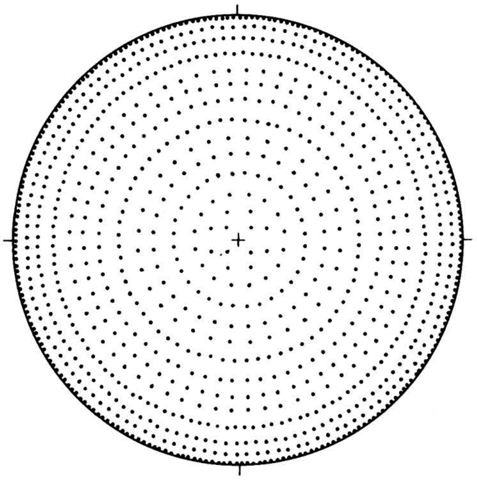


(a)　等立体角射影用

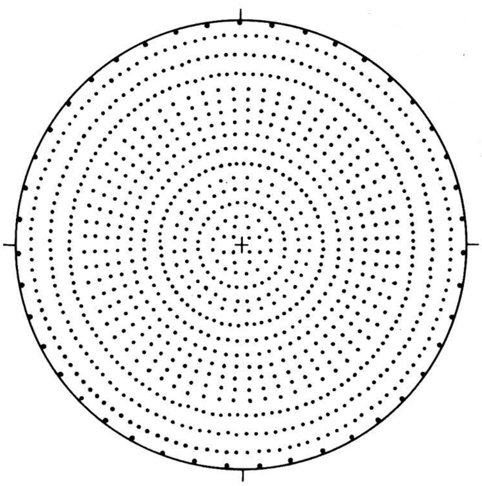


(b)　等距離射影用

図3.3.6　天空率算定図（1点，0.1%）[1)]



(a)　正射影用



(b)　等距離射影用

図3.3.7　天空比算定図（1点，0.1%）[1]

3　測定の準備

3.1　太陽位置図の作成の手順と理解

この演習に用いる太陽位置図を次の手順によって作成し，その理解を深める。

(1)写真撮影に用いる魚眼レンズの射影形式を定める（正射影，等立体角射影，等距離射影のうち2種とする）。太陽位置図はこれらと同じ射影形式のものをそれぞれ作成する。

(2)第1回の演習に用いる写真の大きさの見当をつけ，太陽位置図の大きさを定める（キャビネ判を用い，直径11.28cmとすれば円の面積が100cm²となり，便利である）。

(3)水平面を射影面とし，高度円と方位円の射影図を作成する。

(4)正確な地形図（例えば，国土地理院の1/25 000の地形図など）を用い，観測地点の緯度 φ と経度 L を調べる。

(5)理科年表[3]などで，測定する日の太陽の赤緯 δ と均時差 e を調べる。

(6)2.1の諸式のうち適当な式を用い，適当な時間間隔で，日の出から日没までの太陽の位置を計算する。さらに，2.3の諸式のうち採用した射影形式の式によって射影面上の座標を計算する。この計算は測定する日のほか冬至の日，夏至の日などについても行う。

(7)先に作成した射影図に時刻の目印を付けた太陽の軌道を描き込む。

(8)図3.3.5などのようなすでに作成されている太陽位置図と照合して，作成した図に間違いがないかどうかを確かめる。

(9)同様の手順で南向きの鉛直面を射影面とした太陽位置図を作成する。

ここで作成する太陽位置図は文献1）の付録を用いても作成できる。

3.2　天空率算定図と天空比算定図の作成

正射影の写真による天空率の計測と等立体角射影の写真による天空比の計測はプラニメータを用いて写真上の天空の面積を測定し，その結果から計算によって求める。その他の場合は，天空率算定図や天空比算定図を用いる。これらの算定図は天空率や天空比の定義と各射影形式の定義に従って作成できるが，かなりの手間が必要なので，ここでは図3.3.6(a)，(b)と図3.3.7(a)，(b)に示した図を正確に拡大して用いる。すなわち，第1回の演習に用いる写真と同じ射影形式の図を図3.3.6(a)，(b)と図3.3.7(a)，(b)とから選び，太陽位置図と同じ大きさに拡大し，この演習で用いる天空率算定図と天空比算定図とする。ここで作成する算定図は，文献1）の付録にある各種の算定図を直接利用することができる。

3.3　各種射影形式の理解

日照時間や天空率，天空比を正確に，しかも簡便に測定するには，それぞれの射影形式の長所と短所とをよく理解していなければならない。巻末の文献1)，2) などによって，それぞれの射影形式の特徴を研究しておくのが望ましい。

3.4　必要とする機材

この演習に必要な機材を表3.3.2に示すが，いずれも使用説明書をよく読み，あらかじめ使い方に習熟しておくことが必要である。

表3.3.2　必要とする機材

機　材　名	数	機　材　名	数
魚眼レンズ（射影形式の異なるもの）	2	プラニメータ	1
		測量用平板	1
同上用カメラボディ	2	方位指示棒	1
写真用大型三脚	2	磁　石	1
トランシット	1	地 形 図	1
プログラム電卓	1	写真フィルム	1
水 準 器	1	真北の測定装置	1
さげふり	1		
ポケットコンパス	1	測距機（距離計）	1

4　主要機器の取扱い方法

4.1　魚眼レンズ

一般に180°またはそれ以上の画角をもつレンズを魚眼レンズという。正射影，等立体角射影，等距離射影の３種の射影形式の魚眼レンズが市販されているが，射影の正確でないもの，射影形式の一定でないものもある。日照の測定には射影形式が一定で，射影の精度の高い魚眼レンズを使用しなければならない。

一般の写真撮影で注意することがらのほかに，魚眼レンズを取り扱うときには，特に，次のようなことに注意する必要がある。

(1)レンズ面が鏡筒より前方に突出しているので，きずを付けないように注意する。

(2)魚眼レンズを装着したカメラはかなり重いので，測定中や撮影中にカメラが動かないように大型三脚を使用する。

(3)突風などで，カメラを付けた三脚が倒れないように三脚を固定する。

5　演習の進め方

5.1　第１回演習

日照条件の異なると予想される数か所の観測地点を選び，真北の測定と，魚眼レンズによる写真撮影を行う。

5.1.1　真北の測定

日照の測定では，観測地点における真北を正確に知る必要がある。このためには正確な地形図を用いて，遠方にある目標物の方位を知るのが最も簡単な方法であるが，遠方の見通しがきかない場合には太陽の位置によって求める。太陽の位置によって求めるには，真北を求めるための日時計か，さげふりまたは垂直に立てた棒の影の方位と，計算で求めたその時刻の太陽の方位角とから，観測地点の真北を求める。

5.1.2　魚眼レンズによる写真撮影

魚眼レンズを用いた写真撮影は，通常の写真撮影に加えて次のような注意が必要である。

(1)魚眼レンズを装着したカメラを，その光軸が正確に鉛直または水平になるように観測地点に設置する。光軸の鉛直や水平は撮影ごとに必ずチェックする。

(2)方位の記録には，方位を示す指針を設け，それを写し込むのがよい。写真の像の中心や境界を正確に求められるように，それらを指示するものを工夫して写し込んでおく。

(3)魚眼レンズの画角は広いので，その中に輝度の極めて大きいものや極めて小さいものを含む。したがって，露出は慎重に決定しなければならない。異なった露出で数枚の撮影をしておくのが望ましい。

(4)太陽が画角の中に入るとゴーストやハレーションを生ずる。これを防ぐために，適当なしゃへい物で太陽をしゃへいする。

(5)撮影場所・日時などを写真に写し込むかまたは撮影メモを作成するなどしておく。

(6)写真の焼付・引伸しやスライド映写機で投影するときなどは，像が正確な円形となるよう，光軸がフィルム面と投影面の中心を通りそれに垂直となるように注意する。

5.2　第2回演習

第2回の演習では，日照時間・天空率・天空比の算定および射影形式の比較，日照時間の検討などを行う。

5.2.1　各種算定図の作成

3.1，3.2で述べた方法によって，太陽位置図，天空率算定図，天空比算定図を作成する。これらの算定図は，魚眼レンズを用いて撮影した写真に重ねて計測するのに用いるので，トレーシングペーパーなど透明度の高い用紙を用いて作成する。

5.2.2　日照時間の算定

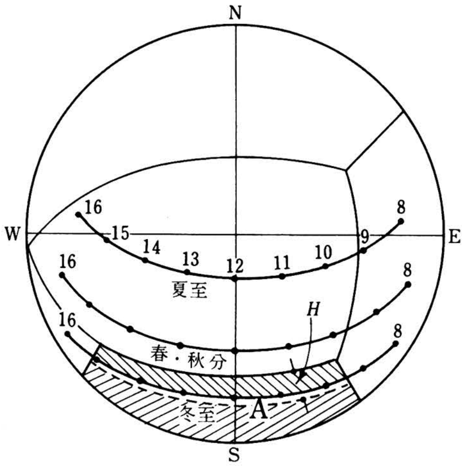
観測地点で魚眼レンズを用いて撮影した全天空の写真と太陽位置図とを重ね合わせて，測定の日，冬至の日，夏至の日などにおける日照時間を算定する。2種類の射影形式について測定し，それぞれの算定結果や読取りの難易を比較する。

5.2.3　天空率と天空比の算定

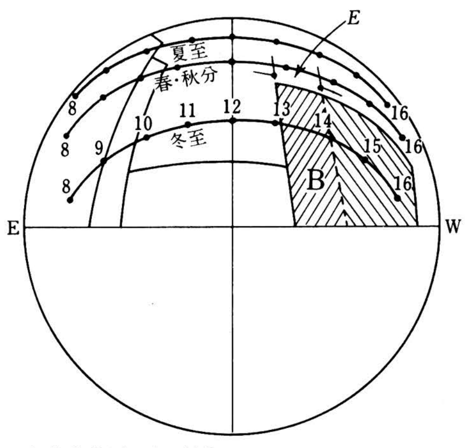
写真に撮影された天空部分と建物などとが区別できるように油性の細字のフェルトペンなどでこれらの境界に線を入れる。正射影の写真から天空率を求める場合と等立体角射影の写真から天空比を求める場合は天空部分の面積をプラニメータで計測し，天空率と天空比を計算する。その他の場合は，図3.3.6および図3.3.7に示すようなそれぞれ適当な算定図と重ね合わせて天空率や天空比を求める。それぞれの方法の算定結果を比較すると同時に長所や短所を検討する。

5.2.4　日照時間の検討

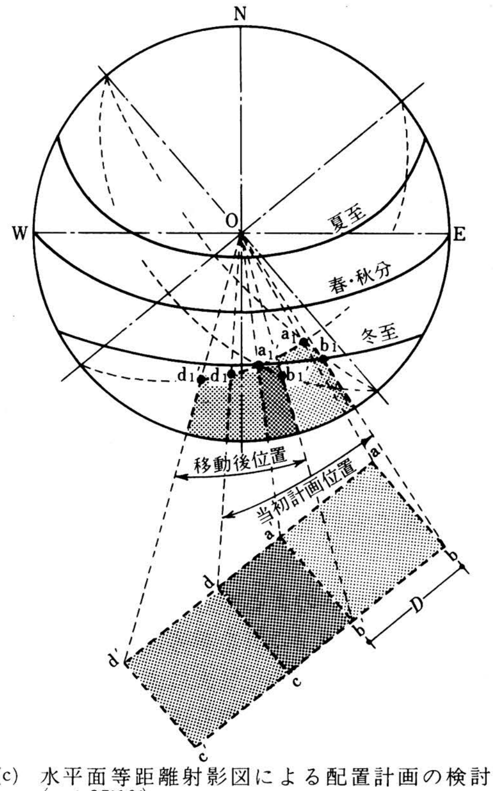
測定したときに現存した建物の位置や高さを変更したら日照時間がどのように変わるか



(a)　水平面正射影図による建物の高さの検討
（φ：35°10′）



(b)　南向き鉛直面正射影図による配置計画の検討
（φ：35°10′）



(c)　水平面等距離射影図による配置計画の検討
（φ：35°10′）

図3.3.8　日照時間の検討例

を，太陽位置図のなかに変更した建物の射影図を記入して検討する。また，冬至の日に1時間日照時間を長くするためには，建物の位置や形をどのように変えたらよいかなどを検討する。

図3.3.8(a)は，水平面正射影図による建物の高さの検討例である。例えば，図3.3.8(a)に示すようにAの建物の高さをHだけ低くすれば，8時から16時までの時間帯で冬至の日の日照時間が全くなかったものが，9時40分から15時10分までの約5時間30分となる。

図3.3.8(b)は，南向き鉛直面正射影図による配置計画の検討例である。

例えば，図3.3.8(b)に示すようにBの建物をEだけ削減または移動すれば，8時から16時までの時間帯で冬至の日の日照時間がおおよそ9時55分から13時10分までの約3時間15分であったものが，9時55分から14時10分までの約4時間15分となる。

図3.3.8(c)は，水平面等距離射影図による配置計画の検討例である。

例えば，図3.3.8(c)に示すように，a b c dに計画された建物をa′ b′ c′ d′にDだけ移動すれば，冬至の日に測定地点の日照を阻害することがない。

建物の高さは，建物の高さを測定する点の仰角とその位置までの水平距離から計算できる。仰角は写真に重ねた太陽位置図の高度円から求めることもできるが，トランシットで測定した方が正確に求めることができる。水平距離は測距機によって測定する。水平距離の測定が困難な場合は，観測点と建物の高さを測定する点までの距離を測定し，これと仰角から高さを計算する。

6　レポートのまとめ方

表3.3.3，3.3.4の例を参考にして測定結果の整理や形式を工夫して表にまとめる。撮影した写真や使用した図表も添付する。各種射影形式の比較，日照時間の検討も図解して説明する。

表3.3.3　結果のまとめ方の例
(日照時間)

撮影月日・時刻	月　日　時　分	測定者	
観測地点	地　名	緯　度	経　度
		°　′	°　′
魚眼レンズカメラ	射影形式	レンズNo.	ボディNo.
	1 2		
魚眼レンズの設置方法*			
日照時間	月　日　時間　分	冬至の日　時間　分	
	月　日　時間　分	夏至の日　時間　分	
特記事項			

* 水平方向か南向き鉛直面かを記入する。

表3.3.4　結果のまとめ方の例
(天空率・天空比)

撮影月日・時刻	月　日　時　分	測定者	
観測地点	地　名	緯　度	経　度
		°　′	°　′
魚眼レンズカメラ	射影形式	レンズNo.	ボディNo.
	1 2		
天空率	プラニメータによる　(%)		
	算定図による　(%)(**　)		
天空比	プラニメータによる　(%)		
	算定図による　(%)(**　)		
特記事項			

** 使用した算定図が，あとでわかるように，それぞれの算定図に番号か名称をつけておき，ここに記入する。

7　関連事項

建築基準法および，観測地点のある各地方自治体の日照等の条例，指導要綱について調査し，測定結果と比較検討を試みる。

文　献

1）日本建築学会編：日照の測定と検討，彰国社，p.8，9，67，69，73，77，1977
2）武井正昭：日照規制とその対策，オーム社，1978
3）東京天文台編：理科年表—昭和57年—，丸善，1981

表3.3.5 建築基準法(抜粋)

(日影による中高層の建築物の高さの制限)
第56条の二 別表第三 日影による中高層の建築物の制限

	(い)	(ろ)	(は)	(に)		
	地　域	制限を受ける建築物	平均地盤面からの高さ		敷地境界線からの水平距離が10メートル以内の範囲における日影時間	敷地境界線からの水平距離が10メートルを超える範囲における日影時間
一	第一種住居専用地域	軒の高さが7メートルを超える建築物又は地階を除く階数が3以上の建築物	1.5メートル	(一)	3時間(道の区域内にあっては，2時間)	2時間(道の区域内にあっては，1.5時間)
				(二)	4時間(道の区域内にあっては，3時間)	2.5時間(道の区域内にあっては，2時間)
				(三)	5時間(道の区域内にあっては，4時間)	3時間(道の区域内にあっては，2.5時間)
二	第二種住居専用地域	高さが10メートルを超える建築物	4メートル	(一)	3時間(道の区域内にあっては，2時間)	2時間(道の区域内にあっては，1.5時間)
				(二)	4時間(道の区域内にあっては，3時間)	2.5時間(道の区域内にあっては，2時間)
				(三)	5時間(道の区域内にあっては，4時間)	3時間(道の区域内にあっては，2.5時間)
三	住居地域，近隣商業地域又は準工業地域	高さが10メートルを超える建築物	4メートル	(一)	4時間(道の区域内にあっては，3時間	2.5時間(道の区域内にあっては，2時間)
				(二)	5時間(道の区域内にあっては，4時間)	3時間(道の区域内にあっては，2.5時間)

この表において，平均地盤面からの高さとは，当該建築物が周囲の地面と接する位置の平均の高さにおける水平面からの高さをいうものとする。

4　音環境の測定

4.1　騒音・振動の測定

1　演習の目的

騒音・振動の測定・評価方法の基本を学ぶことを目的として，環境騒音・振動として最も一般的といえる道路交通による騒音・振動と，空調設備などによる室内騒音を例にとり，騒音レベル・振動レベルの測定方法および騒音の周波数分析法について演習を行う。

2　基礎事項

2.1　音圧レベル・騒音レベル

音圧は音波の存在によって空気中に生ずる圧力の変動分であり，その実効値をつぎのようにデシベル(dB)単位で表示したものを音圧レベルという。

$$L_p = 10\log_{10}(p_e^2/p_0^2) \quad \text{(dB)} \qquad (4.1.1)$$

p_e ：音圧の実効値（$Pa = N/m^2$）

p_0 ：基準音圧（$20\mu Pa$）

このように，音圧レベルは音の物理的な大きさを表す基本的な量であるが，多くの周波数成分からなる実際の音を人間が聴いたときに感じる大きさとは必ずしも対応しない。これは人間の聴覚が周波数特性をもっているためである。そこで感覚と物理量とを対応させるために，聴覚の特性を考慮して，音圧に図4.1.1に示すような周波数特性(A特性)の重みづけをして音圧レベルを測定する。これを特に騒音レベル（単位dBまたはホン*）という。1オクターブバンド音圧レベルに対するA特性補正値を表4.1.1に示す。

2.2　振動加速度レベル・振動レベル

地盤や構造物の1点の振動を測定する場合，測定量としては振動変位・振動速度・振動加速度の3つがあるが，環境振動を対象とする場合は通常，振動加速度を測定する。

* 慣用的にはdB(A)が広く用いられている。ホンは日本だけで用いられており，国際的には通用しない（phonとは異なる）。

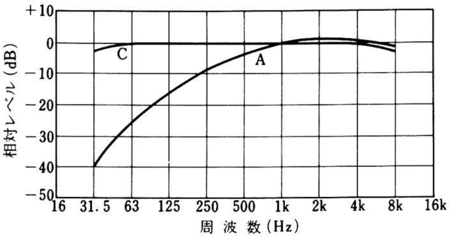


図4.1.1　騒音計の周波数補正特性（A，C特性）

表4.1.1　A特性補正値（1オクターブバンド）

1オクターブバンド中心周波数(Hz)	63	125	250	500	1 000	2 000	4 000
A特性補正値(dB)	−26	−16	−9	−3	0	+1	+1

表4.1.2　1，1/3オクターブバンド中心周波数

オクターブ		オクターブ		オクターブ	
1/3	1	1/3	1	1/3	1
0.8		25		800	
1	1	31.5	31.5	1 000	1 000
1.25		40		1 250	
1.6		50		1 600	
2	2	63	63	2 000	2 000
2.5		80		2 500	
3.15		100		3 150	
4	4	125	125	4 000	4 000
5		160		5 000	
6.3		200		6 300	
8	8	250	250	8 000	8 000
10		315		10 000	
12.5		400		12 500	
16	16	500	500	16 000	16 000
20		630		20 000	

振動加速度についても，次式のように実効値をデシベルで表示する。これを振動加速度レベルという。

$$L_a = 10\log_{10}(a_e^2/a_0^2) \quad \text{(dB)} \qquad (4.1.2)$$

a_e ：振動加速度の実効値（m/s^2）

a_0 ：基準振動加速度（$10^{-5} m/s^2$）

振動についても，人体が感じる大きさと振動加速度レベルは必ずしも対応しない。そこで騒音に対してA特性の重みづけをするのと同様に，振動加速度に対して，鉛直振動・水

平振動の別に図4.1.2に示すような周波数特性の重みづけをして振動加速度レベルを測定する。これを特に振動レベルという。

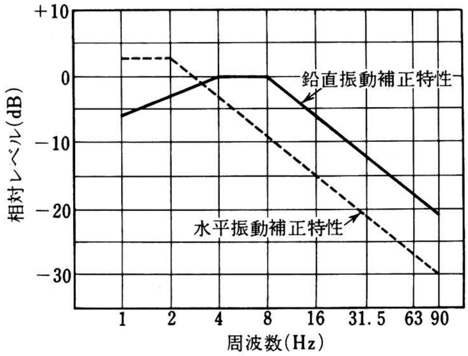


図4.1.2　振動レベル計の振動感覚補正特性

2.3　周波数分析

騒音対策や振動対策のためには，騒音レベルや振動レベルの測定だけでは不十分で，周波数分析（スペクトル分析）が必要となる。

周波数分析を行う場合，周波数の分割のしかたに大きく分けて二つの方法がある。一つは一定の周波数幅で分割する方法*，もう一つは周波数を対数軸上にとったときに一定間隔になるように分割する方法である。建築音響や一般の騒音・振動を扱う場合によく用いられている1または1/3オクターブバンド分析は，後者の方法である。

一般に$1/n$オクターブバンド分析では，一つのバンドの下限周波数f_1，中心周波数f_c，上限周波数f_2の間には次の関係がある。

$$f_2/f_1 = 2^{1/n} \quad (4.1.3), \quad f_c = \sqrt{f_1 \cdot f_2} \quad (4.1.4)$$

国際的に用いられている1および1/3オクターブバンド中心周波数を表4.1.2に示す。

2.4　デシベル計算

1）レベルの合成

それぞれのレベルがL_1, L_2, $\cdots L_n$(dB)である音（振動）のエネルギが加え合わされたときのレベルL(dB)は次式で表される。

$$L = 10\log_{10}(10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + \cdots + 10^{L_n/10}) \quad (4.1.5)$$

*　デジタル周波数分析法として広く用いられているFFT（Fast Fourier Transform）周波数分析法などは定バンド幅分析である。

2）レベルの分解

2つの音（振動）が同時にあるときのレベルがL(dB)であり，そのうちの一つがなくなったときのレベルがL_2(dB)であるとすると，他の一つのみがあるときのレベルL_1(dB)は次式によって計算される。

$$L_1 = 10\log_{10}(10^{L/10} - 10^{L_2/10}) \quad (4.1.6)$$

この式は，暗騒音（暗振動）の補正，すなわち測定対象音（振動）と暗騒音（暗振動）とが同時にあるときのレベルLと暗騒音（暗振動）のみのときのレベルL_2とから対象音（振動）のみがあったときのレベルL_1を推定するときなどに用いる。ただし，この推定計算は$L-L_2$の値が5 dB程度以上でないと，大きな誤差を生ずることがある。

3）エネルギ平均

L_1, L_2, $\cdots L_n$(dB)の音（振動）のエネルギ平均レベル$\overline{L}$(dB)の計算は次式による**。

$$\overline{L} = 10\log_{10}\{(10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + \cdots 10^{L_n/10})/n\} \quad (4.1.7)$$

2.5　レベル統計量の求め方

不規則に変動する騒音レベルを評価する場合，つぎのようなレベル統計量が用いられる。

1）等価騒音レベルL_{Aeq}[1)]

A特性音圧$p_A(t)$を測定時間(T)にわたって2乗平均（エネルギ平均）してデシベル表示した量を等価騒音レベルという。

$$L_{Aeq} = 10\log_{10}\left[\frac{1}{T}\int_0^T (p_A{}^2(t)/p_0{}^2)\,dt\right] \quad (4.1.8)$$

p_0：基準音圧（20μPa）

騒音レベルの等時間間隔サンプル値（L_1, L_2, $\cdots L_n$）から計算するときは次式による。

$$L_{Aeq} = 10\log_{10}\{(10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + \cdots 10^{L_n/10})/n\} \quad (4.1.9)$$

2）時間率騒音レベルL_x[1)]

騒音レベルがL_x(dB)以上となる時間が測定時間のx%を占める場合，このレベルをx%時間率騒音レベルという。実際には，騒音レベルのサンプル値から求めた累積度数曲線

**　一般に$\overline{L} > \overline{L'} = (L_1 + L_2 + \cdots L_n)/n$であるが，$L_1 \sim L_n$のばらつきが小さいときは$\overline{L} \fallingdotseq \overline{L'}$となる。

から読み取る。道路騒音50回のサンプリングで測定した例を表4.1.3，図4.1.3に示す。L_x として実際によく用いられるのは L_{50}(中央値)，L_5・L_{95}（それぞれ90％レンジの上端値・下端値)，L_{10}・L_{90}(それぞれ80％レンジの上端値・下端値）などである。振動レベルについても同様の整理をして，L_{10}を求める[2)]。

表4.1.3　騒音レベルの測定結果の一例

測定の対象・場所・条件など	
a 駅前緑地帯中央（主として自動車音）	41年8月1日（月）2 30 AM.(PM)
	気象　晴，微風
	測定器　a社，b型
	測定者　T.H
	聴感補正 (A),B,C

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
71	72	64	65	67	66	69	68	70	73
73	70	78	69	68	67	67	72	74	80
76	77	66	85	65	67	68	73	69	70
71	72	70	67	75	67	68	65	80	77
74	73	70	68	82	75	66	67	68	69

末尾の数字	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
60dB台					1	3	3	7	6	4
					1	4	7	14	20	24
70dB台	5	2	3	4	2	2	1	2	1	0
	29	31	34	38	40	42	43	45	46	46
80dB台	2	0	1	0	0	1				
	48	48	49	49	49	50				
0dB台										

騒音レベル　L_{50} (70) L_5 (65) L_{95} (80) dB

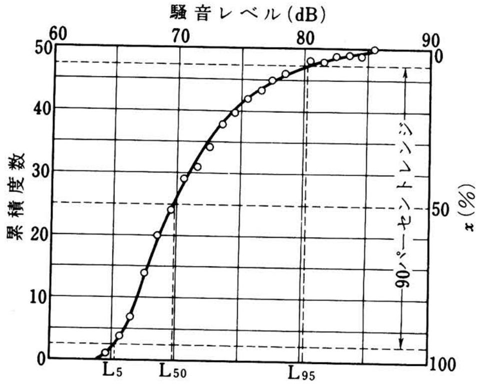


図4.1.3　累積度数曲線

2.6　NC曲線

室内騒音など一般の環境騒音を周波数特性に重点をおいて評価するために提案された曲線で，図4.1.4に示すように1オクターブバンドごとの音圧レベルの分析値をプロットして評価する。評価の方法としては，図中にプロットした点が下から近接する最高の曲線の値で騒音の大きさを表す。原則的には5ステップで評価すべきであるが，実際には曲線の間を5等分し，1ステップで評価することが多い。

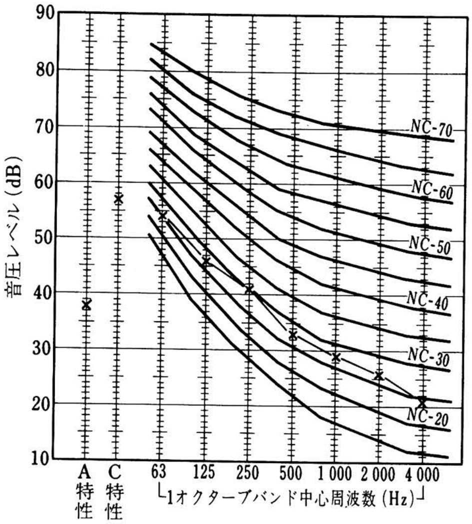


図4.1.4　NC曲線による室内騒音の評価（例：NC-30）

3　主要測定器の動作原理と取扱い方

3.1　騒　音　計

騒音計は図4.1.5に示すような内部構成をもち，無指向性圧力型マイクロホンで受けた音圧を電気信号に変換し，周波数補正回路を通して信号の実効値をメータでデシベル表示する音圧計で，精度のうえから普通騒音計[3)]と精密騒音計[4)]とがある。騒音計の機能と使い方は以下のとおりである。

a）電源　　所定の型の乾電池を使用し，測定の際には必ず電源電圧をチェックする。

b）感度較正　　正しい測定を行うために，以下の2つの方法のいずれかによって感度を較正して用いる。

① 電気的較正*　　内部較正信号による方法で，較正(CAL)の位置にスイッチをセットしたとき，メータが目盛上に表示されている較正位置を指示するように感度調節器を調節する**。

② ピストンホンによる較正　　一定の音圧を発生するように作られているピストンホンに騒音計（Cまたは平たん特性とする)のマイクロホンを差し込み，メー

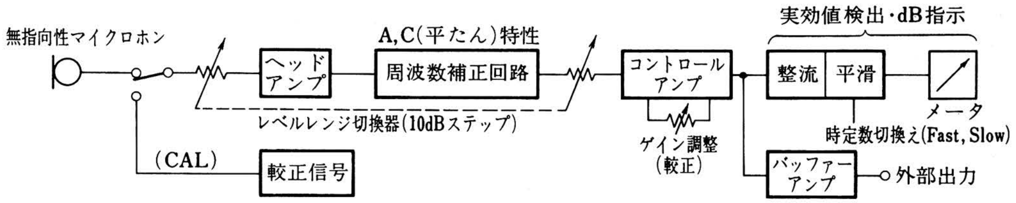


図4.1.5　騒音計の内部構成の一例

タ指示値がピストンホンの発生音圧レベルに一致するように感度を調節する（この方法によれば，マイクロホンを含めた騒音計全体の感度の調節ができる）。

c）周波数補正特性　　騒音レベルを測定するときにはA特性を用い，音圧レベルを測定するときにはCまたは平たん特性を用いる。

d）測定レンジ　　測定する音の大きさに応じて，メータがオーバースケールしない範囲にレベルレンジ切換器（10dBステップ・アッテネータ）をセットする。

e）メータ動特性　　メータの動特性として速い動特性（Fast：時定数0.125s）と遅い動特性（Slow：時定数1s）とがあるが，一般の騒音に対してはFastを用いるのが原則である。

f）外部出力　　周波数分析器やレベルレコーダを接続する際に使用する（周波数補正特性がかかっていることに注意）。

g）その他　　普通騒音計で保証されている温度範囲は5～35℃（精密騒音計では－10～50℃）なので，その範囲内で使用する。

マイクロホンに風があたるとノイズを発生するので，屋外で使用するときには必ず指定されたウインドスクリーンを使用する。

コンデンサ型マイクロホンは周波数特性・感度の安定性が良好であるが，湿気に弱いこと，またダイナミック型マイクロホンは電磁誘導の影響を受けやすいことなどに注意する。

3.2　振動レベル計[5)]

振動レベル計は図4.1.6に示すような内部構成をもち，振動ピックアップで検知した振動加速度信号（1～90Hz）に振動感覚補正特性（図4.1.2）をかけて，実効値をメータでデシベル表示する。

振動ピックアップとしては，X・Y・Z方向別に振動加速度（圧電型）または振動速度（ダイナミック型，加速度に変換）を検知する形式のものが多く用いられている。振動レベル計の使い方はつぎのとおりである。

a）電源（騒音計と同様）

b）振動ピックアップの設置　　振動ピックアップは，付属の水準器などによって必ず水平に設置する。設置面が柔かいとそれがばねとなってピックアップが測定周波数範囲で共振（接地共振）して測定誤差を生ずるので，設置する地面は十分に踏み固めておく（草地・砂地などは避ける）。

c）感度較正　　騒音計の場合と同様に，内部較正信号による電気的較正を行う。

d）測定　　測定方向軸（X・Y・Z）の切換器を所定の位置とし，周波数補正特性を振動加速度レベル（VAL）あるいは振動レベル（VL）のうち所定の特性に設定した後，メータの振れが適正になるようレベルレンジを決めて測定する。

e）メータの動特性　　振動レベル計のメータ動特性は1種類（時定数0.63s）である。これはバースト振動に対する人間の反応をもとに決められている。

3.3　周波数分析器

1あるいは1/3オクターブバンド周波数分析器は一般に図4.1.7に示すような内部構成

---

*　電気的較正は，マイクロホンを除いた電気回路・指示部のゲインを調整する方法で，絶対較正法ではない。

**　騒音計などで，較正信号を出したときに周波数補正回路を切り換えると較正信号のレベルが変化するものがある。このような機種では，騒音計本体あるいはそれに接続して用いる周波数分析器やレベルレコーダの感度調節を行う場合，周波数補正特性は必ずCあるいは平たん特性にする。

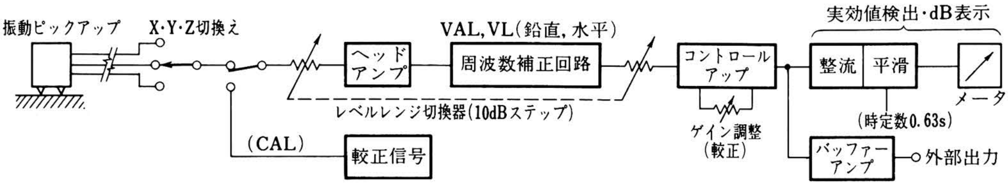


図4.1.6　振動レベル計の内部構成の一例

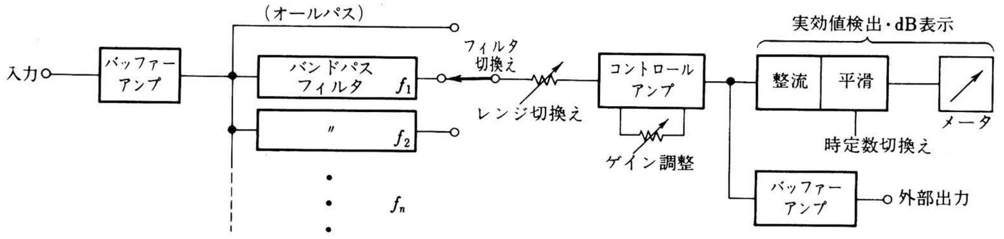


図4.1.7　周波数分析器（バンド切換え型）**の内部構成の一例**

となっている。固定の通過帯域特性(図4.1.8)をもつバンドパスフィルタを必要なバンド数だけ備えており，これを切り換えることによってバンドごとの信号の実効値をメータでデシベル表示する*。

騒音計あるいは振動レベル計に接続して使用する場合は，バンド切換器をオールパス（すべての周波数成分を通過させる）の状態にし，騒音計または振動レベル計の較正信号を入れたときのメータ指示値がそれぞれの計器に指定されている較正(CAL)レベルとなるように感度を調節する。つぎに騒音計あるいは振動レベル計を適正な測定レンジに設定し，分析器のバンド切換器を所定の中心周波数ごとに切り換えて分析を行う。その場合，あるバンドの成分が少なく，メータ指示値が小さすぎるときには，必ず分析器のアッテネータを調節して適正なレベル指示となるようにする（この場合，騒音計あるいは振動レベル計のレベルレンジを変えてはならない)。

3.4　レベルレコーダ

レベルレコーダは，入力電圧の実効値を対数化してレベル表示する記録器である。動作原理には幾つかの種類があるが，記録特性で大きく分けて，ペン応答速度が入力レベルに比例する方式の指数応答型(図4.1.9)と，常に等速度で記録する等速度型とがある。前者の特性は騒音計や振動レベル計のメータ動特性と同じであるので，騒音レベルや振動レベルの記録に適している。一方，後者は高速度のレベル記録ができるので，残響時間の測定などに適している。定常的あるいは変動が比較的小さい騒音・振動については，いずれを使用しても大きな差は生じない。レベルレコーダの使い方は次のとおりである。

a）電源　　交流電源と電池（乾電池または充電式）の両方で使用できるものが多いが，屋外測定などで電池による場合は使用前はも

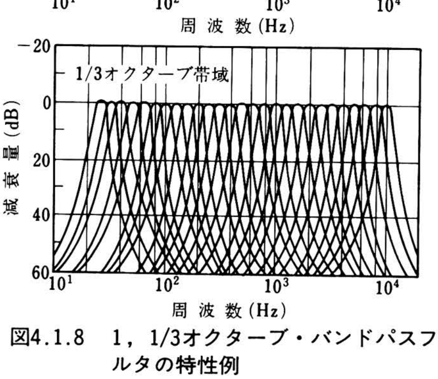


図4.1.8　1，1/3オクターブ・バンドパスフィルタの特性例

* 1/3オクターブバンド周波数分析器を用いる場合は，3つのバンドごとのレベルから(4.1.5)式によって，1オクターブバンドレベルを計算する。

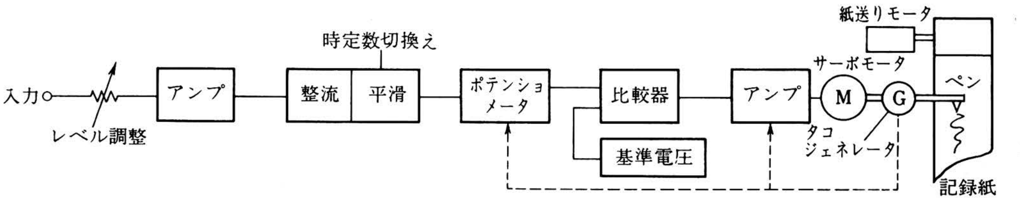


図4.1.9　レベルレコーダ（指数応答型）**の内部構成の一例**

ちろんのこと，使用中にも必ず電源電圧のチェックを行う。

b）記録ペン　　記録には種々のペンが用いられているが，インクのでかたに注意する。

c）動特性　　指数応答型では，騒音計のFast，Slowおよび振動レベル計の動特性に等しい動特性を選べるようになっているものが多く，測定内容に応じて使い分ける。等速度型を用いる場合には，ペン応答速度を調節して騒音計のFast，Slowおよび振動レベル計の動特性に近い特性とする。

d）紙送り速度　　紙送り速度は数段階に切り換えられるようになっており，測定内容に応じて適当な速度に設定する。

e）感度調整　　騒音計，振動レベル計あるいは周波数分析器に接続する場合，較正信号を入力してペンの位置が記録幅（一般に50 dB）の下から60～80%の範囲で，騒音計または振動レベル計の較正(CAL)の位置に等しいレベルとなるようにレベルレコーダの入力感度調整器を調節する。

4　演習の進め方

4.1　第1回演習（通路交通騒音・振動の測定）

4.1.1　道路交通騒音の測定[1)]

1）演習の内容　　道路騒音について騒音レベルを測定し，等価騒音レベルおよび時間率騒音レベルによって評価する。

2）測定点の選定　　なるべく交通量の多い道路を対象とする。測定点は，道路端をはじめ対象道路の騒音の影響を強く受けている地点で，建物などから2 m以上離れた地上1.2～1.5mの高さに設定する。グループに分かれて測定する場合には，道路に直交する線上に数点の測定点を設定することが望ましい。

3）測定条件　　測定は降雨時・強風時などの悪天候のとき，あるいは道路が著しく渋滞しているときなどを避けて行う。

4）測定方法　　騒音レベルの測定方法としては，次の2つの方法のうち，測定器の準備状況・測定要員などから適当な方法を選ぶ。

〔方法―1　騒音計直読による方法〕

1人(測定者)が騒音計（A特性，Fastに設定する）をもち，他の1人(計時係)が時計またはストップウォッチを見ながら，5秒ごとに測定者の肩をたたくなどの方法によって合図する。測定者はその瞬間ごとに騒音計のメータ指示値を読み取り，記録係がその値を記録する。読取り回数（サンプリング回数）は道路の交通条件にもよるが，50～100回程度とする。

〔方法―2　レベルレコーダ記録による方法〕

騒音計にレベルレコーダを接続して，騒音レベルを連続記録する。後刻，レベル記録から，時間軸上で5秒間隔に相当する間隔ごとのサンプリング(50～100回)によって，騒音レベルを読み取る。

測定対象道路の交通流条件の調査として，上記の騒音測定と同時に，上り・下り別の交通量（大型車・乗用車の別）をカウンターを用いて計測する。できれば平均車速も測定しておくことが望ましい。

5）測定の準備　　以下の測定器・測定用具を準備する。

○騒音計（ウインドスクリーン付）
○レベルレコーダ※（および記録紙）
○騒音計用スタンド（カメラ用スタンド）※
○接続コード類※
○電池（各測定器用）

○カウンター（交通量測定用）
○時計またはストップウォッチ※
○関数キー付電卓
○メモ用紙（データ整理用），グラフ用紙（累積度数曲線），筆記用具
（※印をつけたものは必ずしも必要としないが，使用することが望ましい）

騒音計・レベルレコーダなどについては，動作原理を十分に理解し，事前に取扱い説明書などを熟読しておく。

測定に先立って，測定の内容・分担・要領などの十分な打合せを行う。

6）測定　　準備ができしだい，以下の順序で測定を実施する。

① ピストンホンあるいは内部較正信号による電気的較正法によって，騒音計の感度較正を行う（3.1，b）参照）。レベルレコーダを使用する場合は，騒音計の較正信号を記録させて，そのレベルが所定のレベルになるようレベルレコーダの入力感度を調節する（3.4，e）参照）。

② 騒音計をA特性とし，動特性をFastとする。レベルレコーダを使用する場合も，ペン応答は"騒音計のFast"相当とする。つぎに騒音計のレベルレンジ切換器（アッテネータ）を値の大きい方から小さい方へ除々に下げていき，大型車などによる大きな騒音に対してもメータが振り切れない範囲で適当と思われる測定レンジを設定する。その測定レンジの値をあらかじめ記録しておく（測定開始前に，メータの読取り方を練習しておくこと）。

③ 測定の統括者は，すべての測定点の準備が完了したことを確認した後，適当な時刻に測定開始の合図をする。これによって直ちに測定を開始する。

④ 4）で述べた，2つの方法のいずれかによって騒音レベルのサンプリングを行う。測定の途中でやむを得ず測定レンジを変更する必要が生じたときは，騒音レベルの読取りを間違えないよう注意するとともに，必ず記録しておく。サンプリング回数が決められた数に達したら，測定を終了する。

⑤ 測定終了後，必ず測定レンジを再確認する。また最初に行ったのと同様の要領で騒音計・レベルレコーダの感度較正を行い，測定中に感度の変化がなかったことを確認する。

⑥ 測定現場を離れる前に，測定年月日，時刻，測定位置（道路との関係，見取り図），天候とおおよその気象条件，使用測定器の種類などを記録しておく。

7）データ整理　　騒音レベルの測定結果から，次の量を求める。

a）等価騒音レベル L_{Aeq}　　(4.1.9)式によって，すべてのサンプル値のエネルギ平均値を計算し，L_{Aeq} を求める。

b）時間率騒音レベル L_x　　すべてのサンプル値を整理し，累積度数曲線を求める（表4.1.3，図4.1.3参照）。累積度数曲線から L_5，L_{10}，L_{50}（中央値），L_{90}，L_{95} などの時間率騒音レベルを読み取る。

4.1.2　道路交通振動の測定[8)]

1）演習の内容　　自動車の走行による地盤（または構造物の一部）の振動について，鉛直方向の振動レベルを測定し，時間率騒音レベル L_{10} によって評価する。この測定では，4.1.1の道路騒音の測定と共通した点が多いので，同時に行うことが望ましい。

2）測定点の選定　　交通量の多い道路の近くで，水平面が確保できる平たんな場所に測定点を選ぶ。

3）測定の準備　　この測定ではつぎの測定器を使用する（測定用具などは，4.1.1，5）を参考にして準備する）。

○振動レベル計
○レベルレコーダ（レベル記録を行う場合）

4）測定　　振動レベル計の振動ピックアップを，3.2，b）で述べた要領で測定点に設置し，感度較正を行った後，鉛直 Z 方向の振動レベルをメータ直読あるいはレベルレコーダ記録によって測定する。その場合，騒音レベルの測定と同じ要領で5秒間隔100回のサンプリングを行う（測定器の取扱い，測

定後の処置，測定記録などは，4.1.1を参照)。

5）データ整理　振動レベルのサンプル値から累積度数曲線を求め，10%時間率レベル L_{10} を読み取る。参考までに L_{50}，L_{90} なども読み取っておく。

4.2　第2回演習（室内騒音の測定）

1）測定内容　室内騒音について，騒音レベルの測定と1オクターブバンドごとの周波数分析を行い，NC曲線によって評価する。

2）測定点の選定　空調騒音など，なるべく定常的な騒音がある部屋を選ぶ。測定点は室内の壁・窓などから1m以上離れた床上1.2～1.5mの高さに数点設定する。

3）測定条件　外部騒音など，測定の対象とする騒音以外の影響を受けず，室内の騒音が安定した状態で測定を行う。

4）測定の準備　つぎの測定器・測定用具を用意する。

○騒音計
○1または1/3オクターブバンド周波数分析器
○レベルレコーダ※
○騒音計用スタンド（カメラ用スタンド)※
○接続コード類　○電池（各測定器用)
○関数キー付電卓
○NC曲線図（コピー10枚程度)
○その他（メモ用紙，筆記用具等)

(※印をつけたものは，必ずしも必要としないが，使用することが望ましい)

5）測定

① 騒音レベルの測定　騒音計の感度較正を行った後，A特性にして騒音レベルを読み取る。つぎにCまたは平たん特性にして音圧レベル（オーバーオールレベル）を読み取る。騒音計のメータ動特性はFast，Slowのいずれを用いてもよい。

② 周波数分析　騒音計（Cまたは平たん特性とする）に周波数分析器を接続し，中心周波数63Hz～4kHzの1オクターブバンドごとの音圧レベルを読み取る。

以上の測定を行う場合，騒音計または周波数分析器にレベルレコーダを接続し，騒音レベル，音圧レベル，バンドレベルを記録することが望ましい。

なお1オクターブバンド周波数分析によって得られたバンドレベルに表4.1.1に示すA特性補正をしたうえでレベルの合成値を求め，騒音レベルの測定値と一致するかどうか確かめてみる。

6）データ整理　各測定点ごとに，NC曲線上に1オクターブバンド音圧レベルをプロットし，NC値を読み取る。また音圧レベルおよび騒音レベルの測定値と周波数分析値から求めた合成計算値も書き込む。つぎに各測定点における騒音レベル，音圧レベル，1オクターブバンドレベルをそれぞれ全測定点についてエネルギ平均して室内平均値を求め，NC曲線にプロットして評価する。

5　レポートのまとめ方

各演習のレポートは，以下の項目を内容として作成する。

1）測定の目的・内容
2）測定場所・測定点
3）測定日時
4）測定条件（天候・気象条件，周囲の状況など)
5）測定系統（測定器の組合せなど)
6）測定結果(測定データとその整理結果)
7）測定結果に関する考察
8）その他（感想・反省など)

文　献

1）JIS Z 8731　騒音レベル測定方法
2）JIS Z 8735　振動レベル測定方法（改正中)
3）JIS C 1502　普通騒音計
4）JIS C 1505　精密騒音計
5）JIS C 1510　振動レベル計
6）JIS C 1512　騒音レベル・振動レベル記録用レベルレコーダ：審議中
7）騒音規制法
8）振動規制法

4.2　室内音響特性の測定

1　演習の目的

ここでは，劇場・公会堂・体育館・講堂・会議室などがそれぞれの使用目的にあった室内音響性能を保持しているかどうかを調べるため，残響時間，明りょう度，伝送周波数特性，音圧分布，短音減衰波形の各項目について測定し，室内音場を総合的に評価することを試みる。

2　基礎事項

2.1　良い室内音響とは

音を聴くための空間に必要とされる音響条件としては次のようなものがあげられる。

① 静かな空間で邪魔になる騒音がないこと。

② ロングパスエコーやフラッタエコーなどの音響障害が生じないこと。

③ 音声が明りょうに聴きとれること。

④ 音楽が美しく響くこと。

⑤ 室内での音圧分布が一様であること。

2.2　波動音響と幾何音響

室内の音を波動音響的に取り扱う場合には，音の波動性を考慮して音場を解析する。例えば，単純な直方体の室の寸法を L_x, L_y, L_zとすると，その室の持つ固有振動数 f_nは，波動方程式の解として次式によって表される。

$$f_n=\frac{c}{2}\sqrt{\left(\frac{n_x}{L_x}+\frac{n_y}{L_y}+\frac{n_z}{L_z}\right)} \quad (4.2.1)$$

ただし，n_x, n_y, n_zはそれぞれ正の整数である。ここで室内にある音源によって強制振動が与えられると，その周波数に近い部屋の固有振動が励振され，その振幅に応じて室内の音圧分布が定まる。また音源停止後はそれぞれの固有振動の減衰率に従って減衰することになる。この場合，室の寸法比（L_x, L_y, L_z）が簡単な整数倍になっていると，固有振動が，一定の周波数群に集中し，それらが強調されて不自然な音場となる。すなわち固有振動が問題になるような小室では，部屋の寸法比にも注意して設計を行わなければならない。これに対して不整形で室容積の大きな空間では，低音域ですでに固有振動の密度が増しているため，この種の問題は起こりにくい。励振される固有振動の数が非常に多くなると，室内の各点で音があらゆる方向に伝搬し，室内の音圧分布も空間的にほとんど一様で，室内の音場を拡散音場とみなすことができるようになる。このような状態では音の波動性を無視して，音線をエネルギ流に置き換え，幾何音響的な取扱いをすることが可能になる。

2.3　残響時間

室内に拡散音場を仮定したとき，音源を止めてから音が60dB減衰するのに要する時間を残響時間という。残響時間は室内の響きの状態を表す最も重要な指標となっており，(4.2.2)式によって求めることができる。

$$T=\frac{0.161\,V}{S\cdot\{-\log_e(1-\overline{\alpha})+4\,mV} \quad (4.2.2)$$

V：室容積(m³)

S：室内総表面積(m²)

$\overline{\alpha}$：室内平均吸音率 $\overline{\alpha}=\frac{\sum_i S_i\alpha_i}{\sum_i S_i}$

m：空気中における 1 m当りのエネルギ減衰率(1/m)

$\overline{\alpha}$から$-\log_e(1-\overline{\alpha})$を求めるには図4.2.1を用いればよい。吸音率$\overline{\alpha}$の値が大き

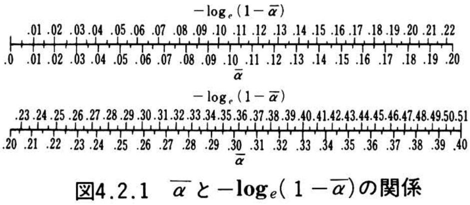


図4.2.1　$\overline{\alpha}$と$-\log_e(1-\overline{\alpha})$の関係

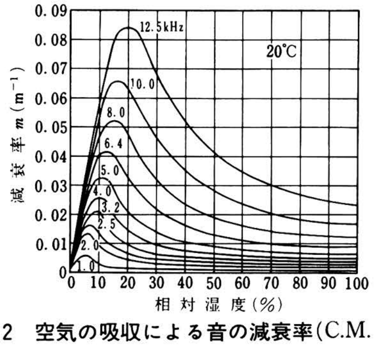


図4.2.2　空気の吸収による音の減衰率(C.M. Harris)

くなるほど両者の差は大きくなる。また m については図4.2.2に示すように室内空気の温度と湿度，周波数によって変化するが，大きな室でも500Hz以下の場合は空気吸収を無視してよい。

2.4　音響障害(図4.2.3参照)

直接音と反射音がそれぞれ分離して別々に聴こえる現象をエコーまたは反響という。エコーは音声や音楽の聴取に有害な影響を与えるので設計の段階で確実に防止しなければならない。大ホールでは特に客席前方部に対して後壁やバルコニー前面からの強い反射音がロングパスエコーとなりやすい。また天井や壁に波長より大きな凹曲部があると，反射音がある点に集中して音の焦点や音の死点を生じやすい。多角形や円形平面のホールでは，音が壁に沿って回ってしまう現象（ささやきの回廊）や，凹曲面と平たんな面や，平面の相互間の同じ経路を音が何回も往復反射して一定の間隔でエコーが連続するフラッターエコー（鳴き竜）などの現象が発生する場合もある。このような音響障害を防止するために，拡散処理や残響計画に照らし合わせた吸音処理が必要となる。

2.5　明りょう度・了解度

話音の聴取を主な使用目的とするホールで

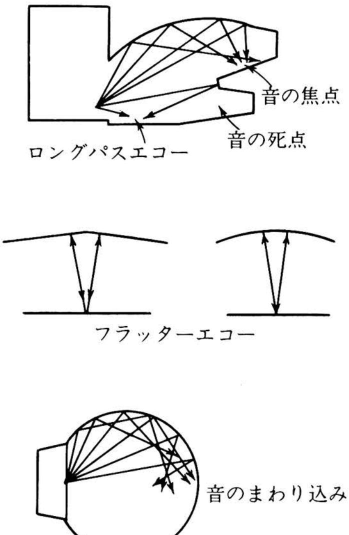


図4.2.3　音響障害

は，音節明りょう度(%articulation：PA)や了解度が良好でなければならない。明りょう度(PA)は次式によって求める。

$$\mathrm{PA}=100\times\frac{\text{正しく聴きとられた音節の総数}}{\text{音表の音節の総数}} \tag{4.2.3}$$

また了解度(PI)については

$$\mathrm{PI}=100\times\frac{\text{正しく聴きとられた key ward の総数}}{\text{質問中の key word の総数}} \tag{4.2.4}$$

明りょう度は対象音の音圧レベル，室の残響時間，伝送周波数特性，騒音レベル，反響の有無など室内音響の多くの因子に関係する。ただし試験方法や被験者によって変動するので，標準的な測定方法によって十分な試験データを集めることが必要である。文章了解度は音節明りょう度よりも一般に高い値になる。聴取条件をよくするには単音節明りょう度が85%以上になることが必要である。

3　測定の準備

室内音響特性の測定対象となる室は，十分大きな室容積を持つことが必要である。固有振動の分布密度は室容積と周波数の２乗とにほぼ比例して増大する。また残響時間測定のようにダイナミックレンジの広い測定を行うことが多いので，室内の暗騒音レベルは十分に低い必要がある。もし騒音レベルが高い場合は，必要に応じて空調設備の運転を停止したり，測定時間を静かな時間帯にずらして測定を行う。測定にあたっては必要な測定器(各演習の項参照）のほかに，電源・接続コード類・筆記具・測定用紙・メジャー・テスタ・工具類などを準備し，それらの結線と動作原理を熟知しておく。あわせて測定内容の分担，測定要領なども十分に打ち合わせておくことが大切である。

4　主要測定器の取扱い方

騒音計・周波数分析器・レベルレコーダについては騒音測定(4.1)の項を参照のこと。

4.1　音源装置

室内音響特性の測定には音源として純音・震音・帯域雑音・広帯域雑音（白色雑音・ピンク雑音）・ピストル発射音や測定の目的によっては楽音（特にパワの大きいオルガン）などが用いられる。純音の定常音は励振できる固有振動の数が比較的少ないので，幾何音響理論を前提とする室内音響測定には適当でない。しかし純音を連続的に周波数変調して得られる震音は周波数変動幅を$\pm\Delta f$，周波数の毎秒変動数をαとすれば，f_cを中心として$\pm\Delta f$内に線スペクトル（間隔α配列）が生ずるので残響時間測定用の音源として使われることがある。その場合Δfはf_cの10%，αは残響時間によって$4/T\leq\alpha\leq 8/T$とする。

1Hz当りのパワが周波数に関係なく一定である白色雑音はオクターブごとに3 dB増加する周波数特性を持っているので，伝送周波数特性の測定には－3 dB/オクターブのフィルタを通したバンドレベルの周波数特性が平たんな雑音（ピンク雑音）を使用する。雑音発生器には通常WHITE—PINKの切替がある。残響時間の測定には，これらの広帯域雑音をオクターブ帯域フィルタに通してオクターブ帯域雑音として用いることが多い。オクターブ帯域雑音を用いると純音の場合よりも当然励振される部屋の固有振動の数が多くなるため，干渉の要素が無秩序になり残響の減衰過程の不規則さは減少する。なお現場の測定ではあらかじめ継続時間が数秒の各帯域雑音を数回ずつ録音した音源テープを作製しておき，室内で再生する方法をとることがある。

測定の目的によっては継続時間の短かい音源が使われる。競技用ピストル発射音などは発生エネルギが大きく，SN比を大きくとれるほか携帯に便利であるためよく利用されるが，中音域に比して低音域の周波数成分が少ないので，低音域の残響時間の測定精度はやや劣る。同じ過渡音源として電気的な信号を短かく（数ms～数10ms）切った短音（パルス）がある。純音パルスの場合，継続時間を短かくすれば入力パワは少なくなるが，その純音の前後の固有振動数を励振することができるので，短音減衰波形の測定によく用いられる。

4.2　スピーカ・マイクロホン

両者はともに電気的な信号と機械的な振動の変換器であるためひずみが問題となりがちであるが，周波数特性・指向特性・最大入出力などに関しても型式による差が大きいので，測定に使用する場合にはそれらの特性をよく知って使い分ける必要がある。室内音響特性の測定によく用いられるマイクロホンはダイナミック型（ムービングコイル）とコンデンサ型である。ダイナミック型は磁束密度が一様な磁界の中に磁束と直角方向に振動する電気導体を置き両端に発生する起電力を取り出すもので，振動体と一体に動くコイルを取り付けたムービングコイル型は，構造的にも故障しにくく，安定していて，使いやすいし，接続する増幅器に対しても特別な考慮はしなくてよい。最近では音質がかなり向上しており，無指向性で良いものが得られる。コンデンサ型は固定電極と振動板でコンデンサを形成させ，振動板の振動による電気容量の変化を利用して起電力を取り出す方式である。ユニットは高インピーダンスで直後に増幅器がつくため電源が必要である。普通は無指向性であるが単一指向性も得られ，特性は極めて良好なので精密な計測によく用いられる。なお，高湿な環境では雑音を発生する可能性があるので注意が必要である。

室内音響測定には無指向性のスピーカがよく用いられる。そのために小型のスピーカを多数組み合わせたものを用いることもある。必要な音圧レベルを得るため十分なパワが出せるものでなおかつ周波数特性はフラットでなければならない。入力インピーダンスは4～16Ωが一般であるが，アンプの出力インピーダンスとの比で周波数特性が変化するのでダンピングファクタ5以上を目安として使うことが望ましい。

4.3 テープレコーダ

現場測定用のテープレコーダは，携帯に便利なこと，電池で作動することが必要条件となるが，さらに耐久性・安定性・信頼性にすぐれ，性能が十分にわかったものでなければならない。性能は主として速度偏差：±0.5%（19cm/s）以下，ワウフラッタと総合周波数特性（例えばBTS 5314に示す範囲内）についてチェックする。録音レベルの指示メータは正確でなければならない。録音に際しては必要に応じて較正音源を録音するが，①自動レベル調整装置は常に解除する。②録音レベルはテープの飽和レベルに対するメータの指示が＋10dB程度として，定常音に対しては0 dB程度，継続時間の極めて短かい衝撃音に対しては－5～－10dB程度で録音する。③機種によって入出力端子が平衡型，不平衡型に分けられるので結線の際正しく使用することが必要である。使用管理上は駆動機構の整備とヘッドの消磁，テープ走行部の清掃などを常時心がけ，総合的な特性チェックを少なくとも年一回は行うこと。

5 演習の進め方

5.1 残響時間測定（第1回演習）

1）演習の内容　ここでは学校の大講堂などの比較的大きな空間を対象として残響時間を測定し，明りょう度試験の結果とつき合わせて建築条件との関係を評価する。

2）測定の条件　測定対象の室は，音場が十分拡散するように波長に比して十分大きな寸法と波長と同程度の不規則性を持つことが望ましい。オーディトリアムなど多数の人が入場して使用する部屋では空席と満席に近い状態の二つについて測定し，舞台上に反射板がある場合反射板の有無についても測定する。会議室・事務室などではその部屋が用いられるときと同じ状態にして測定する。

3）測定装置と測定ブロックダイアグラム

測定のブロックダイアグラムを図4.2.4に示す。音源側については，観客が在室するときの測定のように十分な測定時間が得られない場合には，競技用ピストルの発射音で行う場合があるが，通常は固有振動を数多く励振するとともに測定のSN比を高めるため，1オクターブ帯域雑音を用いて各帯域ごとに測定する場合が多い。測定系を簡略化するためにあらかじめ用意された音源テープを再生してもよい。受音用マイクロホンは無指向性のものを使用する。受音マイクロホンからの出力はプリアンプから帯域フィルタを通して高速度レベルレコーダに接続する。受音側のフィルタは残響時間の周波数特性を明確に求めるためには1/3オクターブ帯域のものを用いるのが望ましい。現場での収音に際し，残響音を一度テープに録音し，後日これを再生して残響時間を求める場合がある。この方法によると，現場での測定時間を短縮することができ，また現場へ持っていく測定器を減らすことができるので，遠隔地の建築物の測定には便利である。残響測定に用いる高速度レベルレコーダは，騒音測定用のレベルレコーダとは異なり，記録ペンの応答速度が大きいムービングコイル型の等速度型のものとする。

4）測定方法　①音源位置と受音点の位置

オーディトリアムでは独奏者や講演者の位置に音源スピーカを置くのを原則とし，会議室・事務室・体育館などでは音源の位置が予

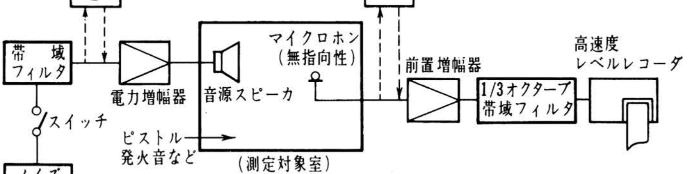


図4.2.4 残響時間測定装置の構成

図4.2.5 レベルレコーダによる残響波形の例

想される位置におく。また受音位置は室内に均等に分布するように小さい部屋では3点，大きい部屋で5点以上とる。

②測定回数・測定周波数　各受音点で数回以上測定する。特に低周波数域では拡散が十分でないと測定値の偏差が大きくなるので，測定回数を増すことが望ましい。測定周波数は1/3または1オクターブ間隔に，オーディトリアムでは63～8 000Hz，その他の室では125～4 000Hz について測定する。

③データの記録　高速度レベルレコーダに記録する際，残響時間 T の長さによってペンの応答速度 d を変えなければならない。通常，$d \geq 120/T$ (dB/s) とする。残響波形は図4.2.5に示すように，定常時のレベルから減衰過程に入った初期の5 dB 程度を除いてその後の直線的な減衰部分が30dB 程度あることが望ましい。

5.2　明りょう度試験（第1回演習）

1）測定内容　人間の音声を用いて部屋の音響性能を総合的に判断しようとするものである。

2）試験用音源リスト　試験に用いる音源の内容は日本語百音節原表からランダムに組み合わせたものを使用する。内容の差によって，

①単音節リスト　百音節原表をランダムに並べかえたもの。ピョ，ニュ，コ，…など（表4.2.1）

②2音節リスト　百音節原表の中からランダムに2個ずつ選んで組み合わせたもの。

③数字リスト　1から9までの数字を2つずつ組み合わせて並べたもの。

などがある。

表4.2.1　単音節明りょう度試験の音表の例

1行目	ハ	ヒョ	ア	ミュ	ガ	モ	チョ	ベ	ボ	チョ
2行目	キャ	ピ	グ	サ	ヤ	ピョ	ミャ	セ	ギ	ゲ
3行目	ズ	ピュ	ラ	ジュ	ミ	ジョ	テ	リョ	ニャ	シ
4行目	ホ	チュ	ピュ	ネ	ビ	ビャ	ビョ	カ	ポ	ロ
5行目	イ	メ	パ	キョ	ブ	ギャ	プ	ス	ト	シュ
6行目	ヒ	ユ	ル	レ	ノ	ヒュ	ナ	ク	ヌ	ジ
7行目	マ	エ	ザ	ヒャ	ツ	フ	ゴ	タ	ゼ	リャ
8行目	ギョ	キュ	ウ	デ	ジャ	リ	ピャ	ヨ	ギュ	ワ
9行目	ヘ	チャ	リュ	キ	ム	ソ	ショ	バ	ゾ	ニ
10行目	ダ	ミョ	ペ	シャ	チ	ケ	ド	オ	ニュ	コ

100音節表より作成

3）再生装置　スピーカを含めた総合特性は，音声を対象とした拡声または再生に適したものを用いる。テープ速度は19cm/s とする。

4）音源位置と再生レベルおよび受音点位置

音源スピーカはその室の通常の講演者の位置におき，スピーカの高さと向きは平均的な口の高さと方向に合わせる。その室に拡声装置がある場合は，音源スピーカから出た試験音を，音源に近接して置いたマイクロホンで受け，その室の拡声装置を通して室内に拡声する。試験音圧は室内平均で70～75dB となるように調整する。聴取点は室内に平均的に分布するように配置し，普通の室で10点以上とる。各点には1人ずつ着席して一組（100音節）の試験が終わるごとに順次各人が受聴点を移動して聴感試験を行うので，その都度必要な測定条件・座席位置・音表番号などをメモできるようにしておく。

5）測定の回数　測定は1測定点につき最低10回（1 000音節）以上（ただし，明りょう度80％程度で有意水準5％を想定した場合）必要である。

5.3　エコータイムパターンの測定（第2回演習）

1）測定の内容　代表的な音源位置から短音を発し，代表的な受音点での応答から有害なエコーなどを見い出そうとするもので，直接音とどれだけの時間遅れをもって各反射音が到達するかを知ることができる。なお，エコータイムパターンには特定の音源と受音点間の過渡的な音響情報がすべて含まれているので，最近エコータイムパターンを解析して各種の聴感物理量を算出することが試みられている。

2）測定用ブロックダイヤグラム　エコータイムパターンの測定装置の構成を図4.2.6

に示す。最も簡単な測定法としては，舞台上で拍手や拍子木などにより単音を出し，客席内を移動してその音を聴きながら反響（エコー）になるかどうかを判断すればよい。しかし，それだけではエコーに感じた場合に反射音群の時間遅れとそのレベル分布などの詳細がわからないため十分な対策がたてられない。測定用の音源は適度なパワをもち，再現性の高いものであることが好ましいので，純音を5～10波だけ取り出した短音を使用することが多い。また競技用ピストル発射音などもそのパワや音源に含まれる周波数の一様性から同様によく用いられる。音源スピーカはある方向の反射音が強調されることがないように無指向性のものが使用される。一方受音用マイクロホンも同様の理由で無指向性の必要があり，通常振動板の小さい1/2インチコンデンサマイクロホンを垂直に立てて水平面内の感度差をなくして測るが，目的によってマイクの方向を特定の方向に向けて測る場合もある。マイクロホンで受けた応答を指示または記録するにあたっては，残光性ブラウン管を用いたシンクロスコープで観察するのが最もよい。反射音群の詳細な構成をメータの指示値や高速度レベルレコーダによって追従することはできない。波形の記録にあたっては，音源側とシンクロスコープの水平軸を同期させておけば，有害な反射音の伝搬時間がわかるので便利である。なおシンクロスコープには接写用カメラをセットし，波形の記録を行えばその後に図面上で音線径路の検討ができる。

3）測定方法　①音源位置・受音点位置　音源はオーディトリアムの場合舞台中央や下手舞台袖の司会者の位置などに置く。他の諸室においても音源となることが予想される位置に置く。受音点は室内に一様に分布した数点をとるが，室内全体を聴いて回り，異状を感じればその点も追加して測定する必要がある。

②測定周波数　単一の周波数で行う場合は，比較的聴感上敏感で，なおかつ適度に拡散しにくい1 000Hz を使用する。周波数を広げる場合には，125Hz，500Hz，2 kHz の3帯域くらいをとれば十分である。

③データの記録　シンクロスコープ上に波形を記録する場合，時間軸（水平軸）の較正は正確に行わなければならない。通常エコーの検知限が50ms 付近であることから，1目盛り当り50ms（画面全体で0.5秒が示される）とする。ただし，125Hz のように低周波領域では波形の減衰が遅く，また聴感上エコーに感じにくいので1目盛100ms になるように調整する。

5.4　音圧分布・伝送周波数特性の測定（第2回演習）

1）測定の内容　音圧分布は代表的な音源位置より一定の強さの音を出し，室内の各点でその受音レベルを測定する。この測定は室内の音場の一様性を知るためのものである。室形によって音の焦点などがあるとすれば，その付近で音圧が上昇するのを知ることができる。伝送周波数特性は測定点を代表的な位置に固定して，その点で各周波数ごとの伝達特性を測定するもので，いずれも定常状態の測定と過渡状態の測定がある。

2）測定用ブロックダイヤグラム　音圧分

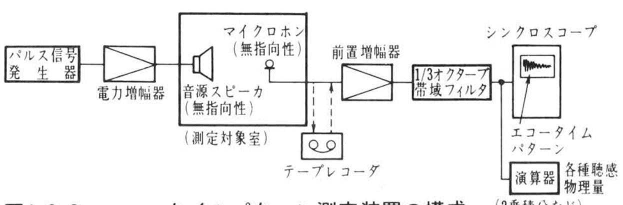


図4.2.6　エコータイムパターン測定装置の構成

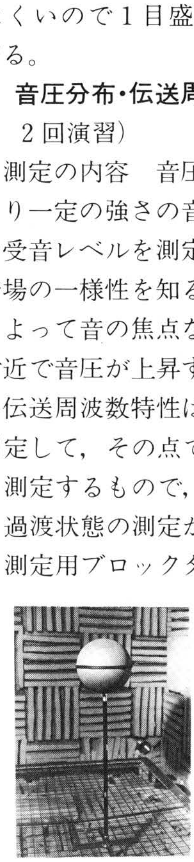


図4.2.7　エコータイムパターン測定に用いる無指向性スピーカの例

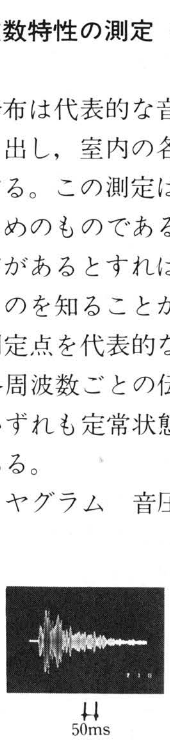


図4.2.8　エコータイムパターンの例

布測定のための測定器の構成を図4.2.9に示す。音源はその室の拡声装置の性能を含めて室内の音圧分布を求める場合を除いては無指向性スピーカでなければならない。実際には小さなスピーカを組み合わせた球型スピーカなどが使用される。伝送特性の測定に際しても同様な扱いとなる。音源の種類は定在波の影響をなくすために震音やピンク雑音・帯域雑音が用いられる。過渡状態のときの測定はこの音源をトーンバーストジェネレータで短音として出す。受音側においては定常状態の場合，無指向性マイクロホンの出力を指示計で読むか，または通常の騒音計の指示値を読むが，指示計の前に帯域フィルタを入れればS/N 比が向上する。音圧分布の測定の場合は周波数を固定してマイクロホンの位置を順次変えるが，伝送特性の場合は測定点を固定して周波数を順次切り換えて測定する。過渡的な分布はレベルレコーダや騒音計の指示動特性がリニアでないので，その前後に可変抵抗器を入れて常に同じ振れになるようにしたときの挿入抵抗値によってレベルを評価する。

3）測定方法

①音源位置と受音点位置　音源位置は他の測定項目と同じように通常音源があると思われる位置とする。受音点は音圧分布の場合3～5 m間隔で比較的細かく測るが，伝送特性の場合は室内の代表点を何点か選んで測定する。

②測定周波数　音圧分布の測定対象周波数はオクターブおきに125Hz～4 kHzとするが，簡略的には代表的な2帯域（500Hz，2 kHz）で全体の傾向を評価してもよい。伝送特性は1/3オクターブ帯域ごとに63Hz～8 kHzくらいまで測定する。なお，音源スピーカをその室に設置された拡声装置のスピーカとした場合の測定値は，拡声系の電気音響的性能と室の建築音響的性能の総合特性を示すことになる。

③データの記録　音圧分布は室の中央付近の代表的な測定点を基準点として，平面図上の各測定点に対応する場所の相対レベル分布で示す。伝送周波数特性は周波数特性用の記録紙を用いてレベルレコーダで記録する。いずれも測定条件をはっきりと記入しておく。

6　データのまとめ方

6.1　残響時間の読取りと整理

高速度レベルレコーダに書かせた残響波形のうち，なるべく30dBの範囲にわたって直線的に減衰していると見なせる記録から残響時間を読み取る。読取り方の例を図4.2.10に示す。直線と見なせる記録範囲が20dBに満たないものは，できるだけデータから除く。こうして得られた結果は周波数ごとに算術平均して残響時間の測定値とする。各測定値は片または両対数のグラフで横軸を周波数(対数目盛)，縦軸を残響時間として測定周波数ごとにプロットし，直線で結ぶ。残響時間周波数特性の測定例を図4.2.11に示す。

6.2　残響時間の評価と満員時の予測

残響時間の測定結果を考察する。最適な残響時間の長さは室容積や使用目的によって変化する。そこで図面または実測によりその室の容積と総表面積を算出しておき，図4.2.12などを参考にして残響時間を評価してみる。もし今回の実験が空室状態のみの測定であれば，その T の測定結果から人間の1人当りの

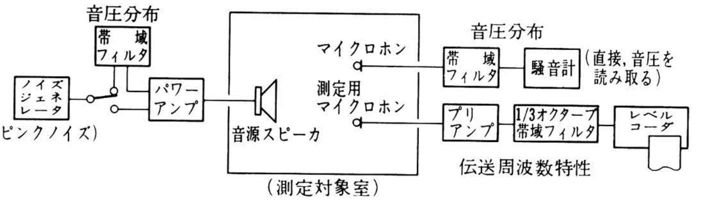


図4.2.9　音圧分布・伝送周波数特性測定装置の構成

(a) 途中で折れ曲がっている　(b) 途中で段がついている
(c) 初期の形状が丸いかまたは段がついている

図4.2.10　残響波形の読取り方
（誤差を生じやすい例）

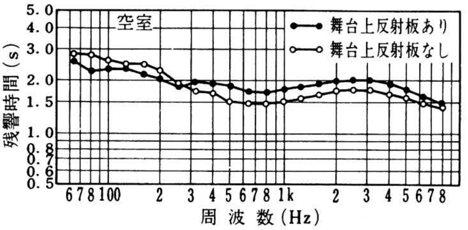


図4.2.11　残響時間測定結果の例

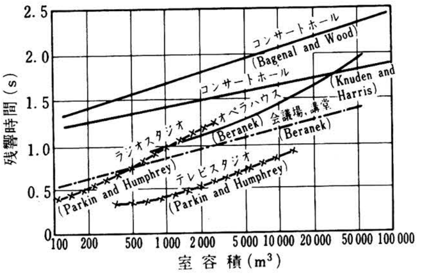


図4.2.12　室容積と最適残響時間

吸音力と収容人員を考慮して満員時の残響時間を予測計算する。計算は①(4.2.2)式より$-\log_e(1-\overline{\alpha})$を求める。②その値を図4.2.1に照合して平均吸音率$\overline{\alpha}$を求める。③空室の総吸音力$S\overline{\alpha}$に人間入室による増加分の吸音力をAとしてそれを加算$(S\overline{\alpha}+A)$したときの平均吸音率$\overline{\alpha}$を求める。④$\overline{\alpha}$を用いて(4.2.2)式より人間収容時の残響時間を算出する。なお，人間の１人当りの吸音力については表4.2.2などを参考にすればよい。

同様にして満席時の測定値だけの場合は空室状態について，また空室状態と満席時が測定してある場合にはその結果から人間１人当りの吸音力を計算してみるとよい。

6.3　エコータイムパターンによる音響障害の評価

測定したエコータイムパターンの写真を平面図上の各測定点にはって整理する。写真の波形から時間遅れのある大きな反射音が見い出せる場合はエコーになりやすいとしてチェックしておく。特に周期的なピークを持った反射音群はフラッターエコーとして感じやすい。エコーになりやすい反射音が認められる場合には波形の時間差より建築図面上に音線を引き，そのエコーの原因となっている反射面を検討してみる。

表4.2.2　人間・椅子の吸音力（m²/個）

	125	250	500	1 000	2 000	4 000 (Hz)
合板折りたたみ椅子 プラスチック成形椅子	.02	.02	.02	.04	.04	.03
劇場椅子・モケット張り	.16	.27	.34	.35	.33	.31
劇場椅子・ビニールレザー張り	.04	.13	.22	.17	.16	.11
成人(劇場椅子モケット張りに座る)	.20	.32	.40	.43	.43	.40
成人（木製椅子・プラスチック椅子に座る）	.10	.19	.32	.38	.38	.38

6.4　音圧分布と伝送周波数特性の評価

音圧分布は室内の各点で極端なピークやディップがなく全体的に±３ dB以内におさまっていることが望ましい。伝送周波数特性は，各周波数帯域相互間で大きなピークやディップがないことが望ましい。その室に設置された拡声装置によって得られた伝送特性の測定結果が思わしくない場合には，調整卓のイコライザーなどである程度まで調整することができる。

6.5　明りょう度分布

明りょう度および了解度の試験結果は各測定点ごとに平均して平面図上に記入し，例えば

①室内の全聴取席に関する平均明りょう度

②音源の正面方向を規準にしたときの対称性，後方への低下性

③異常に異なった値を持つ位置

などを考察し，さらに他の実験項目で得られた測定値（残響時間・音圧分布など）と比較し，その室の室内音響状態を総合的に評価する。

文　　献

1）日本音響材料協会：建築音響関係JIS解説，1979

2）日本音響材料協会編：建築音響工学ハンドブック，技報堂，1963

3）日本建築学会編：建築設計資料集成，１・環境，丸善，1978

4）建築実験法，新建築技術叢書-14，彰国社，1980

4.3　遮音の測定

1　演習の目的

遮音測定は社会的には品質保証や使用者からのクレーム対処などを目的に行われるが，その測定結果は今後の設計・施工の参考資料としても大いに役立つ。

建築物の現場における遮音測定には，2室間の空気音に関する遮断性能と床の床衝撃音に関する遮断性能を知るための2つの測定があり，それぞれの標準測定方法としてJIS A 1417（建築物の現場における音圧レベル差の測定方法）とJIS A 1418（建築物の現場における床衝撃音レベルの測定方法）が制定されている。また，遮音性能の評価方法や基準などもJIS A 1419（建築物のしゃ音等級）や日本建築学会の遮音基準に規定されている。

本演習では上記の2種類の測定法を簡単化して実習を行うとともに，測定結果の評価や遮音性能上の問題点の検討などを行う。

2　基 礎 事 項

2.1　空気音遮断に関する用語と計算式

1）室間平均音圧レベル差 $\overline{D}$

音源室，受音室とも室全体にわたって試験音のほぼ均一な音圧レベル分布が得られる場合の室間遮音性能を表す値である。それぞれの室内で測定された音圧レベルの平均値を $\overline{L}_1$, $\overline{L}_2$ (dB)とすると

$$\overline{D}=\overline{L}_1-\overline{L}_2 \quad \text{(dB)} \qquad (4.3.1)$$

で表される。

この値は2室間の界壁または界床のみの遮音性能を示すものではなく，受音室の吸音効果や2室間における音のいろいろな伝搬路（図4.3.1）をすべて含んだ状態での遮音性能値である。

2）特定場所間音圧レベル差 D'

音源室内および受音室内のある部分的な場所・区域間の遮音性能を表すときに用いる値である。それぞれの場所・区域内の3～5点

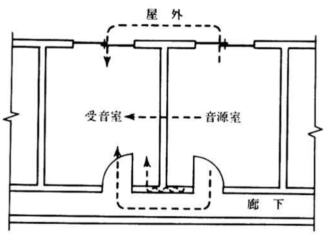


図4.3.1　いろいろな音の伝搬路

で測定された音圧レベルの平均値を $\overline{L'_1}$, $\overline{L'_2}$ (dB)とすると

$$D'=\overline{L'_1}-\overline{L'_2} \quad \text{(dB)} \qquad (4.3.2)$$

で求める。どちらかの室で室全体にわたってほぼ均一な試験音の音圧レベル分布が得られるときには $\overline{L'_1}$（または $\overline{L'_2}$）が室内平均音圧レベル $\overline{L}_1$（または $\overline{L}_2$）になることもある。

この値を求める測定は

① 一方の室のある場所と他方の室のある場所との間の遮音性能を知るという特別な目的がある場合

② 一方の室もしくは両室とも，室の形や規模などに起因して，室全体にわたって均一な試験音の音圧レベル分布が得られない場合

に行われる。

3）基準化音圧レベル差 D_n

国際規格に示されている室間遮音性能の表示方法で，受音室で測定された残響時間を T (s)または吸音力を A(m²)とすると，それぞれの基準値を $T_0=0.5$(s)，$A_0=10$(m²)として，次式から求める。

$$D_{nT}=\overline{D}+10\log_{10}T/T_0 \quad \text{(dB)} \qquad (4.3.3)$$

$$D_{nA}=\overline{D}+10\log_{10}A_0/A \quad \text{(dB)} \qquad (4.3.4)$$

4）音響透過損失 TL

ある遮音層に入射する音の強さ I_i とそれを透過した音の強さ I_t との比を音響透過率 τ といい，この逆数を対数表示した次式で定義される。

$$TL=10\log_{10}1/\tau \quad \text{(dB)} \qquad (4.3.5)$$

$$\tau=I_t/I_i \qquad (4.3.6)$$

この値は壁，床などの遮音構造そのものの遮音性能を表し，一般には隣接した2つの残響室を備える実験施設でJIS A 1416（実験室における音響透過損失測定方法）によって

測定される。試験体の面積を S(m²)とすると

$$TL=\overline{D}+10\log_{10}S/A \qquad (4.3.7)$$

から求められる。

2.2 床衝撃音遮断に関する用語と計算式

1）床衝撃音レベル L

広義には人の歩行，走りまわり，とびはね，椅子の移動などに伴って下階の室に生ずる騒音の音圧レベルも含めるが，遮断性能の指標としての床衝撃音レベルとはJIS A 1418に規定された軽量および重量床衝撃音発生器によって受音室(一般には測定対象床の下の室)に生ずる床衝撃音の平均音圧レベルをいう。この値は床だけの遮断性能を表すものではなく，受音室の吸音効果も含んでいる。

2）基準化床衝撃音レベル L_n

国際規格に示されている遮断性能の表示方法で受音室の吸音効果を配慮した値である。受音室で測定された残響時間を T(s)または吸音力を A(m²)とすると，基準値をそれぞれ $T_0=0.5$(s)，$A_0=10$(m²)として次の各式から求める。

$$L_{nT}=L-10\log_{10}T/T_0 \quad (\mathrm{dB}) \qquad (4.3.8)$$

$$L_{nA}=L-10\log_{10}A_0/A \quad (\mathrm{dB}) \qquad (4.3.9)$$

2.3 遮音性能の評価に関する用語

1）遮音等級[2)]

遮音性能を評価するための基準周波数特性を与える曲線群の各々に付けられた数値で，たとえばD—50，L—50のように表される(図4.3.2，図4.3.3)。両図の曲線群のうち，JIS A 1419ではD—30〜D—55，L—40〜L—65までが規定されている。

2）適用等級[2)]

遮音性能のグレードを表す等級をいい，特級，1級，2級，3級の4段階に分かれている。各等級の遮音性能上の意味は表4.3.1のように与えられている。

この適用等級には室の用途に応じて表4.3.2，表4.3.3に示すような遮音等級があてはめられている。

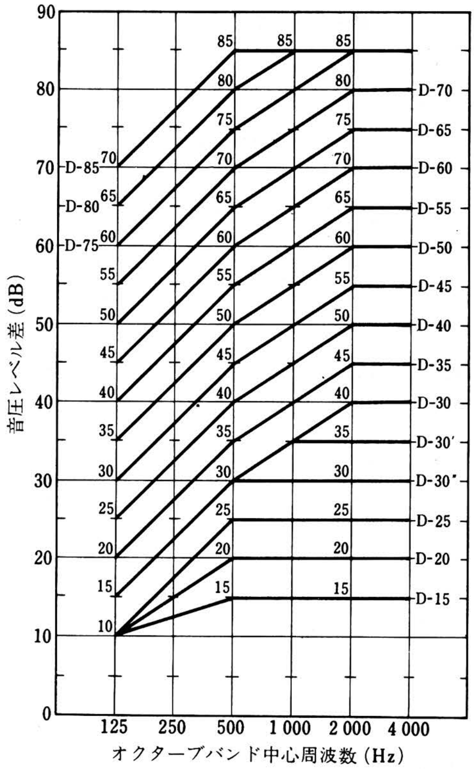


図4.3.2 音圧レベル差に関する遮音等級の基準周波数特性

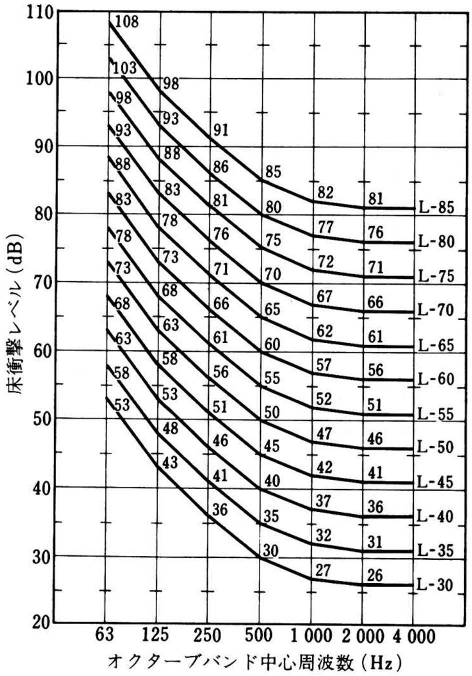


図4.3.3 床衝撃音レベルに関する遮音等級の基準周波数特性

表4.3.1　適用等級の意味

特　級（特　別）	学　会 特別仕様	遮音性能上非常にすぐれている	特別に遮音性能が要求される使用状態の場合に適用する
1　級（標　準）	学　会 推奨標準	遮音性能上好ましい	通常の使用状態で使用者からの苦情がほとんど出ず遮音性能上の支障が生じない
2　級（許　容）	学　会 許容基準	遮音性能上ほぼ満足しうる	遮音性能上の支障が生ずることもあるがほぼ満足しうる
3　級（最低限）	—	遮音性能上最低限度である	使用者からの苦情が出る確率が高いが社会的，経済的制約などで許容される場合がある

表4.3.2　室間平均音圧レベル差に関する適用等級

建築物	適用対象	適用等級			
		特　級（特別仕様）	1　級（標準）	2　級（許容）	3　級（最低限）
集合住宅	居　室　間	D-55	D-50	D-45	D-40
ホテル	客　室　間	D-50	D-45	D-40	D-35
事務所	業務上プライバシを要求される室間	D-50	D-45	D-40	D-35
学　校	普通教室間	D-45	D-40	D-35	D-30
病　院	病室（個室）間	D-50	D-45	D-40	D-35
戸建住宅	プライバシを要求される場合の寝室・個室の間	D-45	D-40	D-35	D-30

表4.3.3　床衝撃音レベルに関する適用等級

建築物	室用途	部　位	特　級	1　級	2　級	3　級
集合住宅	居　室	隣戸間界床	L-40 L-45*	L-45 L-50*	L-50, 55	L-60
ホテル	客　室	客室間界床	L-40 L-45*	L-45 L-50*	L-50 L-55*	L-55 L-60*
学　校	普通教室	教室間界床	L-50	L-55	L-60	L-65
戸建住宅	居　室	同一住戸内2階床	L-45, 50	L-50, 60	L-65 L-70*	L-70 L-75*

（注）原則として軽量，重量両衝撃源に対して適用，ただし＊印は重量衝撃源のみに適用。

3　測定の準備

3.1　室間平均音圧レベル差の測定準備

3.1.1　測定器および補助用具

1）音源装置

試験音（オクターブ帯域雑音）を発生する装置として次の測定器を各1個用意する。

①　雑音発振器

②　オクターブバンドパスフィルタ（オクターブ分析器でもよい）

③　電力増幅器

④　スピーカ

①～③までが一体化された測定器になっている場合もある。

2）受音装置

試験音の音圧レベルを測定する装置として次の測定器を各1個用意する。

①　普通騒音計

②　オクターブ分析器

3）補助用具

①　マイクロホンスタンド

②　巻尺（測定点の位置決めに使用する）

③　測定値の記録用紙（表4.3.5），筆記用具

④　測定対象室の平面および断面図

⑤　トランシーバー1組

3.1.2　準備作業

1）音源室・受音室の設定

JIS測定方法では室の吸音効果を含んだ遮音性能を測るので，測定対象とする2室の吸音力が異なっている場合には音源室・受音室の設定の仕方によって測定結果に差異が生ずる。室の用途や実際の使用状態に則して設定する。2室の用途・規模・室内仕上げが類似している場合はどちらを選んでもよい。

2）音源スピーカの位置の設定

音源スピーカは室の隅に，隅の方に向けて設置する。設置上の基本条件には

ⓘ音源室内の音圧レベル分布ができるだけ均一になるようにすること

ⓘⓘスピーカからの直接音が受音室への音の透過面（主たる透過面は2室間の界壁または界床）に入射しないこと

の2点がある。したがって，設置場所として図4.3.4に示すように4隅が考えられるが，図

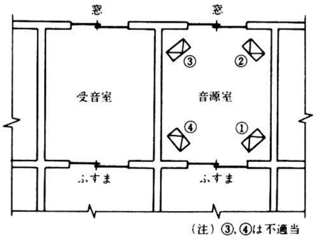


図4.3.4　音源位置の選び方

中③と④はⅱの条件から不適当である。残りの2隅のうちどちらを選ぶかは室の状況とⅰの条件によるが，図の例では2室間の窓～窓を伝搬する音の影響を配慮して①の場所にしている。

3）音圧レベルの測定点の設定

音源室，受音室とも次のように行う。

① 床上1.2～1.5mの高さで一様に分布するように5点を配置する。

② 音源スピーカ・壁・扉・窓などの近傍は避ける。

以上の条件から配置は空間的な分布でなく平面的なものとなり，室の平面が複雑な形状でない限り図4.3.5に示したサイコロの5つ目に相当する配置をとる事例が多い。②の条件に関しては少なくとも50cmは離した方がよいとされている。

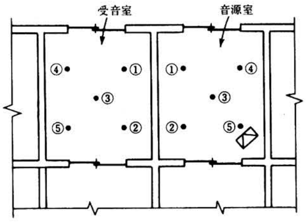


図4.3.5 音圧レベルの測定位置

3.2 床衝撃音レベルの測定準備

3.2.1 測定器および補助用具

1）音源装置

床衝撃音を発生させる装置として次の測定機器を各1個用意する。

① 軽量床衝撃音発生器（タッピングマシンともよばれる）

② 重量床衝撃音発生器（JIS D 4202に規定されている5.20―10―4 PRの自動車タイヤ）

2）受音装置および補助用具

室間平均音圧レベル差の測定と同じものを用意する。測定値の記録用紙の例を表4.3.6に示す。

3.2.2 準備作業

1）衝撃位置の設定

衝撃位置およびその数は，JIS A 1418によると，できるだけ一様に分布した5点を設定

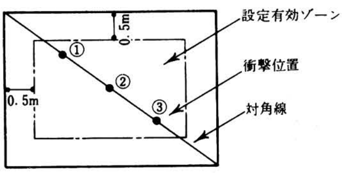


図4.3.6 衝撃位置の設定方法

することになっているが，この演習では3点で行う。

図4.3.6に示すように，測定対象とする床に対角線を引き，その線上に3点を設定する。設定は次のように行う。

① 1点は床の中心に選ぶ。

② 他の2点は中心～隅間距離の1/2くらいの所に選ぶ。

③ 周壁から50cm以上離す。

④ はりの上は避ける。

2）床衝撃音発生器の調整

4.2を参照する。

3）床衝撃音レベルの測定点の設定

室間平均音圧レベル差の測定演習にならって設定する。

4 主要測定器の取扱い方

4.1 室間平均音圧レベル差の測定器

1）音源装置

発振器は一般に連続スペクトルの白色雑音（ホワイトノイズ）および桃色雑音（ピンクノイズ）を発生できるようになっている。この広帯域雑音をフィルタによって125，250，500，1000，2000，4000Hzの各々を中心周波数とするオクターブ帯域の雑音信号とし，電力増幅器で増幅してスピーカへ入れ，音として発振させる。

オクターブ帯域雑音はフィルタの周波数切換スイッチの操作で容易に得ることができるが，ピンクノイズを用いると受音室側の測定値で近似的に遮音性能を推定できる利点がある。

電力増幅器の取扱いでは次の2点に注意する。

① 電力増幅器の出力端子とスピーカの入力端子の相互のインピーダンスの整合を図

る。

② スピーカへの出力レベルを適正な値に調整する。調整はボリウムで行うが，スピーカには定格の許容入力があり，雑音信号の電力を過大に供給するとスピーカの破損を招く。調整に際しては，初めはボリウムを絞っておき，スピーカからの発生音を聞きながら徐々に上げていき，必要なレベルまでもっていく。異常音がしたらそれ以上には絶対にボリウムを上げてはならず，むしろ絞り気味にして使うようにする。

2）受音装置

演習項目4 1「騒音・振動の測定」を参照する。

4.2　床衝撃音レベルの測定器

1）軽量床衝撃音発生器

一列に並んだ5個の鋼製ハンマーが小型電動機によって1個ずつ順番に自由落下し，床に衝撃を加える装置である。使用に際してはハンマーの落下高を規定の4 cmに調整すること以外は電源スイッチ1つで作動，停止を行うだけで，操作はいたって簡単である。

落下高の調整は次のように行う。

① 発生器を平らな所，例えば机上に置く。

② 発生器の上面にハンマーを手動で引き上げる回転つまみがある。電源スイッチを切にしたまま，矢印の向きに回すと5個のハンマーがつぎつぎ引き上げられ，一定の高さにつり下げられる。

③ その状態で備付けの高さゲージをハンマーの下端に差し込み，きちっと納まるかどうかを確かめる。きちっと納まらない場合には，発生器本体を支える3本の足にねじがきってあるので，これらを適宜に回転させながら高さを調整する。この際，ハンマーを垂直に保つことにも留意する。

④ 調整が終ったら床面に設置し，作動させてみる。衝撃音を聞きながら各ハンマーが均等な衝撃を与えているかどうか，発生器の機械部に異常音がないかどうかを確かめる。異常がなければ調整は完了である。

2）重量床衝撃音発生器

JISの規定に合う自動車タイヤ(ホイール付き)を用い，所定の高さから自由落下させ床に衝撃を加える。落下，引上げを電動機によって自動的に行う機械装置もあるが，もし保有していなければ人手で行う。1人または2人で組になって，床面から輪の下面までの高さが90±10cmになる位置から，タイヤの接地面が床に当たるように，垂直に自由落下させる。使用に際してはタイヤ内の空気圧が1.4～1.6×10^5Pa (1.4～1.6kgf/cm^2) になるようにタイヤ用圧力ゲージで調整する。

5　演習の進め方

5.1　第1回演習

室間平均音圧レベル差の測定

5.1.1　測定チームの編成と役割分担

3人でチームを編成し，各人は下記の役割を適宜分担して測定演習を行う。

○音源装置の操作係	1人
○音圧レベルの測定係	1人
○測定値の記録とマイクロホンの移動係	1人
○準備作業	全員
○データのまとめ	全員

測定を実施するに当り

① 音源室ではかなり大きな試験音を発生するので，特に音源装置の操作係は耳に脱脂綿を詰めたり，耳を押さえるなどして聴力保護を図った方がよい。

② 音圧レベルの測定係は最後まで同一人が担当することが望ましい。

5.1.2　測定手順と要領

1）音源スピーカの設置位置の調整

音源スピーカを設置する室隅が決まったら実際に試験音を出してみて，音源室内の音圧レベル分布ができるだけ一様になるように音源スピーカの位置・向きなどの微調整を行う。

測定に用いる試験音は125，250，500，1 000，2 000，4 000Hz(以下，測定周波数という）を中心周波数とする6種類のオクターブ帯域雑音であるが，レベル分布の検査では125Hzの試験音を用い，5測定点間

の音圧レベルの差異が大きくても10dB，できれば5 dB以内に納まるようにする。

2）試験音レベルの調整

受音室において測定される試験音に対して暗騒音の影響をできるだけ少なくするため，次の手順に従って調整を行う。

① 受音装置のマイクロホンを準備された5測定点のいずれか1点に設置し，音圧レベルの測定ができる状態にしておく。

② 試験音を測定周波数ごとに，断続的に発生させる。発生，停止の時間は各々2～3秒とする。

③ 受音室にセットされているオクターブ分析器の周波数を試験音のそれと合わせ，発生時と停止時の音圧レベルを監視し，その差異が全測定周波数にわたって少なくともも6 dB以上，できれば10dB以上になるように音源装置の操作係へボリウム調整を連絡する。

④ 調整が終了したら本測定完了までセットしたボリウム位置を変化させないよう注意する。

3）試験音の発生

測定周波数の小さい順に，断続的（発生，停止の時間は各々2～3秒）に発生させる。

測定周波数の切換えは音圧レベルの測定係の連絡を受けながら行う。

4）受音装置の調整

騒音計の周波数補正回路をC特性とし，内蔵の較正信号によって騒音計とオクターブ分析器の感度調整を行う。

指示計器の動特性は速い動特性(Fast)を用いる。

5）音圧レベルの測定手順

音源室内・受音室内の音圧レベルの測定はどちらの室から始めてもよいが，遮音性能を実感としてもとらえておこうとする場合は音源室から始めた方がよい。

音源室内・受音室内の測定は測定周波数ごとに交互に行う必要はなく，全測定周波数を通して測定した後，他方の室の測定に移る。

各測定点における測定の進め方として

① 測定周波数ごとにマイクロホンを5測定点に順次移動させながら測定していく

② 測定点ごとに測定周波数を順次変えながら測定し，6周波数の測定が終ったら次の測定点にマイクロホンを移していく

の2通りがあり，どちらでもよいが測定のやりやすさや誤りを避けるという観点からすると①の方がよい。

6）指示値の読み方

音圧レベルはオクターブ分析器の指示計器から読み取るが，その指針は必ずしも一定値を指さない。特に125Hz，250Hzの試験音に対しては広い幅をもって不規則に揺れ動く場合が多い。指示値の読取りは，ほぼその平均的な指示位置に着目して行い，1 dB単位で読む。

記録係は読み取られた測定値を参考例として示した表4.3.5の用紙に記入していく。

7）暗騒音レベルの読取り

暗騒音の影響は音源室の測定においては全く生じないが，受音室では試験音の音圧レベルが低くなるので影響を受けやすくなる。試験音の発生時と停止時とのメータ指示値の変化に注目し，その変化量が10dB未満の場合には停止時の指示値，すなわち暗騒音の音圧レベルも測定し，記録しておく。

5.2 第2回演習

床衝撃音レベルの測定

5.2.1 測定チームの編成と役割分担

4人1組のチームを編成し，各人は下記の役割を適宜に分担して測定演習を実施する。

○床衝撃音発生器の操作係	2人
○音圧レベルの測定係	1人
○測定値の記録とマイクロホンの移動係	1人
○準備作業	全員
○データ整理・まとめ	全員

5.2.2 測定手順と要領

1）床衝撃音発生器の設置

軽量床撃音発生器は衝撃位置の割付け時に引いた対角線とハンマー列が直角になるように設置する。

2）床衝撃音の発生

軽量床衝撃音発生器の場合は，床衝撃音レベルに対する暗騒音の影響をみるため，5秒ぐらい作動させては2秒ぐらい停止させるという操作を繰り返す。

重量床衝撃音発生器として自動車タイヤを用い，手で落下させる場合は音圧レベルの1測定点・1測定周波数当り4～5回の落下操作を行う。

3）受音装置の調整

5.1.2の4)にならって調整する。

4）床衝撃音レベルの測定手順

床衝撃音発生器の作動は衝撃位置①から始め，測定周波数の低い順に5測定点の音圧レベルを測定していき，4 000Hzまでの測定が終ったら，床衝撃音発生器を次の衝撃位置に移し，測定を続ける。

床衝撃音レベルの測定は下記の7測定周波数について行う。

63，125，250，500，1 000，2 000，4 000Hz

5）指示値の読取り方

ピーク値に着目して読み取る。

①　軽量床衝撃音発生器の場合

ほぼ連続的に床衝撃音が発生するが，低い測定周波数では指示計器の指針が幅広く揺れ動く。不規則に動いているように見えるが，時間をかけて指針を監視していると振れ方に周期性が認められるようになるので，そのピーク値を3～5回読み，平均的な値を記録する。

②　重量床衝撃音発生器の場合

指示計器の指針は衝撃と同時に急激に振れる。3～4回の衝撃ごとのピーク値に注目し，それらの値がほぼ一定していることを確かめ，その値を記録する。指針が目盛の上限近くに振れる場合は，騒音計またはオクターブ分析器の増幅ダイヤルを操作し，目盛の0 dB付近に振れるようにして指示値を読み取る。

6）暗騒音レベルの読取り

5.1.2の7)項を参照する。

6　レポートのまとめ方

6.1　測定値の整理

1）暗騒音の影響の補正

試験音および床衝撃音と暗騒音との音圧レベルの差異が10dB未満の場合は，表4.3.4の補正表を用いて測定値を修正する。差異が3 dB未満の場合は測定値として採用しない。

表4.3.4　暗騒音の補正表

(単位：dB)

暗騒音とのレベル差	3	4　5	6　7　8　9	10以上
試験音レベルの測定値に加える補正値	−3	−2	−1	0

2）遮音性能値の算出

測定周波数ごとに次式を用いて算出する。算出結果および平均値は小数第1位で4捨5入し，整数で示す。

①　室間平均音圧レベル差$\overline{D}$の算出

$$\overline{D}=\overline{L}_1-\overline{L}_2 \quad (\mathrm{dB}) \qquad (4.3.10)$$

$\overline{L}_1$：音源室内の平均音圧レベル　(dB)

$\overline{L}_2$：受音室内の平均音圧レベル　(dB)

②　床衝撃音レベルLの算出

$$L=\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\overline{L}_j \quad (\mathrm{dB}) \qquad (4.3.11)$$

$\overline{L}_j$：衝撃点がj位置のときの受音室内の平均音圧レベル (dB)

m：$\overline{L}_j$が算出できた衝撃位置の数

3）測定値の平均処理方法

5測定点間の測定値の差異の大きさに応じて下記の中から式を選び平均値($\overline{L}_1$，$\overline{L}_2$，$\overline{L}_j$)を算出し，その結果を測定値表に記入する。

測定周波数ごとに得られた5個の測定値の最大値L_{max}と最小値L_{min}との差に注目して，

①　$L_{max}-L_{min}\leq 5$ dBのとき

$$\overline{L}_{(j)}=\frac{1}{5}\sum_{i=1}^{5}L_{i(j)} \qquad (4.3.12)$$

L_i：測定点iにおける音圧レベル (dB)

(j)：床衝撃音レベル測定の場合の衝撃位置を示す。室間平均音圧レベル差測定の場合は不要。

②　5 dB$<L_{max}-L_{min}\leq$10dBのとき

$$\overline{L}_{(j)}=10\log_{10}\frac{1}{5}\sum_{i=1}^{5}10^{\frac{L_{i(j)}}{10}} \qquad (4.3.13)$$

③　10dB＜$L_{\max}-L_{\min}$のとき平均値は算出しない。

4）結果の表示方法

測定値や計算結果は表で，最終結果は図で示す。図は図4.3.2，図4.3.3を使用し，測定周波数ごとに点または丸でプロットし，線で結んでおく。

6.2　遮音性能の評価方法

測定結果をプロットする図には既に評価曲線が記入されているので，次のように該当する基準曲線を選び，遮音等級を求める。

①　測定周波数ごとに，測定結果の記入値に最も近い曲線の D または L の値を求める。

②　室間平均音圧レベル差に関しては，求められた6つのバンドの D 値のうち，最小のものを評価値（遮音等皿）とする。

③　床衝撃音レベルに関しては，求められた7つのバンドの L 値のうち，最大のものを評価値とする。

6.3　レポートの作成

レポートは下記の項目・内容を盛り込んで作成する。

1）測定目的

2）測定対象の概要　　測定に関係する室の規模・状況や部位の断面構造などを図で示すとともに必要事項を記載する。

3）測定年月日

4）使用測定機器の名称・型式

5）測定方法　　音源の位置，音圧レベルの測定点などは図で示し，測定要領・手順を述べる。

6）測定結果　　表・図などで測定値・計算値・最終測定結果・暗騒音レベルを示す。

7）考　察　　遮音性能の評価，用途からみた適否，問題点（音もれ・弱点部分など）について述べる。

8）演習のまとめ　　測定上の問題点・改善点などチームメンバーで討議し，まとめる。

7　関連事項・参考資料

本文中に掲げた参考資料以外として

1）国際規格 ISO 140/Ⅰ～Ⅷ

2）日本建築学会編：建築物の遮音性能基準と設計指針

などがある。

表4.3.5　室間平均音圧レベル差測定値の記入用紙例

年　月　日

建物名称

音源室名　　　　受音室名

受音位置＼周波数(Hz)		125	250	500	1 000	2 000	4 000
音源室	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	平均						
受音室	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	平均						
平均音圧レベル差							

表4.3.6　床衝撃音レベルの記入用紙例

年　月　日

建物名称　　　　音源装置（軽・重）

音源室名　　　　受音室名

音源位置

受音位置

音源位置	受音位置＼周波数	63	125	250	500	1 000	2 000	4 000
1	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
	平均							
2	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
	平均							
3	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
	平均							
総平均								

5　屋外環境の測定

5.1　屋外気象の測定

1　演習の目的

屋外気象は，建築環境と密接な関係があるが，温度・湿度などの熱環境の要素は1.1「外界気象要素の測定」で，日照は3.3「日照の測定」で既に解説されているので，この節では，これら以外の気象要素について，それらの測定方法を学ぶとともに，建築環境との関連性について考察する。

2　基礎事項

2.1　気象観測の分類

気象観測とは，気象現象を自然科学的方法を用いて観察測定するものであり，主に大気の状態を知ることを目的としている。観測対象の範囲，観測方法などの違いにより，地上気象観測，海上気象観測，高層気象観測，レーダー気象観測，航空気象観測，気象衛星観測などに分類される。各々，観測範囲や精度が異なるので，観測目的に応じて最も適した方法を選択する必要があり，場合によっては複数の観測を組み合わせることがある。

ここでは，最も基本となる地上気象観測について述べる。なお，地上気象観測データを迅速に収集，分析し，局地的な気象現象を予測して災害防止に役立たせることを目的とした地域気象システム（AMeDAS）が作られ，稼動している(7.4参照)。

2.2　地上気象観測

2.2.1　観 測 場 所

気象観測の場所は，付近一帯の気象状態を代表する平たんな土地で，周囲に阻害物がなく，下記の条件を満たす場所が望ましい。

1）露　場

日当りのよい場所に600m²以上の広さを確保し，雨のはね返りと太陽光線の反射による影響を防ぐために芝草を植えて観測場所にする。これを露場とよび，周囲には柵を設け，百葉箱・雨量計のほか必要な測定器を設置する。

2）方　位

方位は，北極星，太陽の南中時，あるいは偏角の補正を加えた磁石の示す方位のいずれかによって決定し，日射・風向・雲などの観測において用いる。

3）高　度

高度は，正確には水準測量によるが，地図の等高線からの内挿によってもだいたいの値を得ることができる。決定された高度は，気圧の海面更正のために用いられる。

2.2.2　永年気候観測と普通気候観測

気象観測には，永年の気候調査を目的とする永年気候観測，主に応用気候調査を目的とする普通気候観測，および電報をもって通報するために行う通報観測がある。このうち，永年気候観測と普通気候観測の主な観測項目と時刻をそれぞれ表5.1.1および表5.1.2に示す。

気象庁の観測法における観測の順序は，定められた時刻以前に表5.1.3に示した観測種目の順番に従って行い，気圧の読取りは定められた時刻に行う。これらの観測は約10分以内の短時間で行い定時の値とする。

現在，永年気候観測は，札幌，根室，秋田，宮古，輪島，松本，潮岬，米子，清水(四国)，

表5.1.1　永年気候観測の観測種目および時刻

観測種目／観測時刻	気圧（現地）	気温	相対湿度	降水量	日最高気温	日最低気温	積雪の深さ	日照時間	直達日射量
1	○	○	○					自記器械による	地方真太陽時の9時・12時・15時
2	○	○	○						
3	○	○	○	○					
4	○	○	○						
5	○	○	○						
6	○	○	○	○					
7	○	○	○						
8	○	○	○						
9	○	○	○	○		○	○		
10	○	○	○						
11	○	○	○						
12	○	○	○	○					
13	○	○	○						
14	○	○	○						
15	○	○	○	○			○		
16	○	○	○						
17	○	○	○						
18	○	○	○	○					
19	○	○	○						
20	○	○	○						
21	○	○	○	○	○		○		
22	○	○	○						
23	○	○	○						
24	○	○	○	○					

（注）普通気候観測および定時通報観測と重複しない時刻における気圧・気温および相対湿度の観測は，自記器械による。

出典：気象ハンドブック，p.213

表5.1.2 普通気候観測の主な観測種目および時刻

観測時刻＼観測種目	雲量	雲形	雲の向き	視程	現在天気	気圧(現地・海面)	気温	露点温度	相対湿度	風向	風速	降水量	日最高気温	日最低気温	積雪の深さ	降雪の深さ	蒸発量	日最大瞬間風速	日照時間	全天日射量	大気現象
3						○	○	○	○	○	○	○							自記器械による	自記器機による	常時
9	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○			
15	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			○	○					
21													○		○	○					

(注) 観測種目は官署ごとに決められている。

出典：気象ハンドブック，p.213

表5.1.3 観測の順序

1．風程	5．降雪の深さ	9．風程
2．視程	6．降水量	10．風向
3．雲	7．気温	11．気圧
4．積雪の深さ	8．露天温度（または湿球温度）	

(注) 気象状況，観測場所の状態，測器の種類など必要に応じ，観測結果への影響が小さければ，順序を変えてもよい。

出典：気象ハンドブック，p.212

福岡，鹿児島，沖縄，石垣島の13か所で行われており，普通気候観測は全国160か所で行われている。

2.3 天気図の種類と見方

気象観測結果をもとに天気図が描かれるが，天気図には地上天気図と高層天気図がある。

地上天気図は，等圧線を用いて高・低気圧などの気圧分布の形態を表したもので，風・気温・気圧・天気などの観測値も記入されている。図5.1.1に観測値の記入形式を，また表5.1.4に日本式天気記号を示した。

表5.1.4 日本式天気記号

快晴	霧または氷霧	雪
晴	霧雨	にわか雪
曇	雨	あられ
煙霧	雨強し	ひょう
砂じんあらし	にわか雨	雷雨
地ふぶき	みぞれ	

図5.1.1 観測値記入例(1)

図5.1.2 観測値記入例(2)

高層天気図は，高層大気の状態を解析するための天気図で，一般に等圧面天気図が用いられる。等圧面天気図は気圧の等しい面の高度を線で結んで作られ，観測点における風向・風速・気温・露点温度・等圧面高度が図5.1.2の形式により記入されている。

3 観測種目および方法

気象庁で行っている地上気象観測の観測種目別の主な使用測定器を表5.1.5に示す。

表5.1.5 気象官署で使用されている主な測定器

観測種目	使用する測器
気圧(海面)	フォルタン型水銀気圧計またはアネロイド型指示気圧計，アネロイド型自記気圧計
気温	隔測温湿度計，携帯用通風型乾湿計，通風型乾湿計または金属製自記温度計(日巻)
日最高気温	隔測温湿度計または二重管(自記)最高温度計
日最低気温	隔測温湿度計または二重管(自記)最低温度計
露点温度 相対湿度	隔測温湿度計，携帯用通風型乾湿計，通風型乾湿計，毛髪自記湿度計
風向	風車型自記風向風速計（プロペラ型発電式）
風速	風車型自記風向風速計(プロペラ型発電式)または風杯型風程式風速計(三杯)，自記電接計数器および指示電接計数器
降水量	貯水型指示雨量計，貯水型自記雨量計，降雨計，円筒型雨雪量計，はかり型自記雪量計または降水はかり
積雪の深さ	雪尺
前24時間の降雪の深さ	雪板
雲の高さ	測雲気球
日照時間	ジョルダン式日照計
直達日射量	銀盤式日射計
全天日射量	熱電堆式全天日射計
目視または聴音	雲量，雲の高さ，雲の向き，雲の状態，現在天気，過去天気，大気現象

出典：気象ハンドブック，p.214

3.1 気　　圧

気圧の観測には，次に示すような方法および測定器がある。

1）液柱法（4.1，1）参照)

液柱の重力と気圧をつり合わせる方法で，水銀気圧計(隔測自記水銀気圧計)，2液型気圧計，環状気圧計などがある。

2）弾性体法(4.1，2）参照)

密閉した弾性体容器の気圧による変形を利用する方法で，空ごう気圧計，ブルドン管気圧計，薄板気圧計などがある。

3）沸点法

気圧による沸点の変化を利用する方法で，沸騰点気圧計がある。

これらのほか，冷却法やα線法など高層気象観測に用いられる方法がある。

観測値は，器差・温度・重力の補正を施した後，表5.1.6の海面更正値を用いて平均海面の高さにおける気圧に換算して用いられる。

3.2 温度・湿度

1.1「外界気象要素の測定」参照

表5.1.6　気圧の海面更正

h(m) ＼ t(℃)	−10	−5	0	5	10	15	20	25	30
	mb	mb	mb	mb	mb	mb	mb	mb	mb
10	1.32	1.29	1.27	1.24	1.22	1.20	1.18	1.16	1.14
20	2.63	2.58	2.53	2.49	2.44	2.40	2.36	2.32	2.28
30	3.94	3.87	3.80	3.73	3.66	3.60	3.54	3.48	3.42
40	5.25	5.15	5.06	4.97	4.88	4.80	4.71	4.64	4.56
50	6.56	6.44	6.32	6.21	6.10	5.99	5.89	5.79	5.70
60	7.87	7.72	7.58	7.44	7.31	7.18	7.06	6.95	6.83
70	9.17	9.00	8.84	8.68	8.53	8.38	8.24	8.10	7.96
80	10.38	10.28	10.09	9.91	9.74	9.57	9.41	9.25	9.10
90	11.79	11.57	11.35	11.15	10.95	10.76	10.58	10.40	10.23
100	13.08	12.84	12.60	12.38	12.16	11.95	11.74	11.55	11.36

h：観測地における気圧計の海面上の高さ(m)

t：高さ h の気柱の平均気温(℃)　$t=t_h+\frac{0.0065}{2}h$

t_h：観測地の気温(℃)

出典：理科年表昭和56年版，p.197

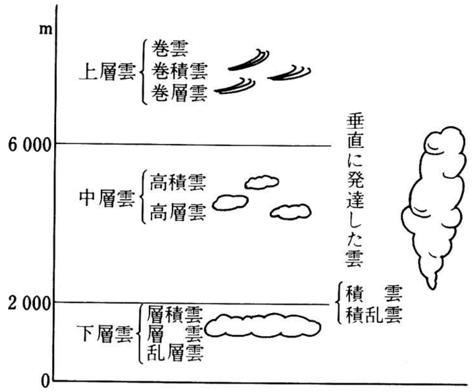


図5.1.3　雲の分類

3.3　風向・風速

1.1「外界気象要素の測定」参照

3.4　降水量，積雪の深さ

降水量の測定は，雨・雪・あられなどの降水を，雨量計（指示雨量計・転倒ます型自記雨量計など）や雪量計（円筒型雨雪量計など）を用い，一定面積の容器（受水器）に受け，その重量または水に換算した容積を求めることにより行われる。

積雪の深さは，最も簡単には，平たんな地面に垂直に立てた物差(雪尺)を用いて測るが，超音波積雪深計，隔測自記積雪深計，ヘルマン自記雪量計などの自動測器も用いられる。

3.5　日　　照

3.3「日照の測定」参照

3.6　日　射　量

1.1「外界気象要素の測定」参照

3.7　雲

雲は，図5.1.3のごとく，高度により，上層雲・中層雲・下層雲および垂直に発達した雲の4族に分けられる。また，形により，巻雲・積雲・層雲など10種類の雲形に分類される。これらの高度・雲形などを考慮して，雲量・雲形・雲速・雲高などを観測する。

1）雲　量

雲量は雲が天空を占める割合で表し，全天に雲がない場合を0，全天が雲に覆われた場合を10とする。通常，まず全雲量（すべての雲の雲量）を観測し，次に部分雲量（上，中，下層別，またはある雲形に対する雲量）を雲量の多い順に観測する。

雲量は通常目測によるが，その際の注意事項を以下に示す。

① 下層から垂直に発達した雲は下層雲とみなし，雲の濃淡，高低などは考慮しない。

② 上下に雲が重なっているときは，下の雲の透き間を通し上の雲の雲量を推測する。

③ 夜間の雲量観測は，星の見えない所は雲に覆われているとして，昼間の雲から推定する。

④ 霧・煙霧・ばい煙などの場合には，雲量の観測は同様に行うが，雲形を「霧」などと注記して区別する。

2）雲　形

雲形は，1956年版の国際雲図帖の分類に従い，10種類に分けられている。これらの名称，国際略語および特徴を表5.1.7に示す。

3）雲向・雲速

雲向は，雲の流れる方向を風向と同様に表す。雲速は，緩，中，急の3階級で表す。

4）雲　高

測雲気球を用いて観測する。

5）雲の符号化

空全体を総合した雲の状態とその特徴を，気象報として通報するために雲の符号化が行われている。表5.1.8に示すように，高度に対応する C_L，M_M，C_H の3種の記号と，雲形を考慮した0～9の数字とを組み合わせて符号化されている。

表5.1.7 雲形の分類

名　称	国際略語	特　徴
巻雲(絹雲)	Ci	白くて細い線やかたまり。羽毛状になったり，絹のようなつやをもつこともある。
巻積雲(絹積雲)	Cc	多数の白くて小さい雲片が，さざ波のように並んでいる。
巻層雲(絹層雲)	Cs	白っぽいベールのような雲で，かさができることが多い。
高積雲	Ac	巻積雲に似ているが，雲片がずっと大きく陰があったりする。雲片がくっついて塊になることもある。
高層雲	As	空に広がる灰色っぽい雲の層で，うすいところから太陽がわかる。
乱層雲	Ns	高層雲よりずっと厚く，太陽はわからない。この雲の下に，ちぎれ雲ができることも少なくない。
層積雲	Sc	高積雲より大きくて低い雲片の集まり。ロール状になることもある。
層　雲	St	低い層状の雲。雲をとおして太陽がみえるとき，その輪郭がくっきりしている。
積　雲	Cu	わた雲。
積乱雲	Cb	発達した積雲の頂部に氷晶ができて，崩れたり広がったりしたもの。

表5.1.8 雲の符号化

C_L	C_M	C_H
0 S_c，S_t，C_u，C_bはない	0 A_c，A_s，N_sはない	0 C_i，C_c，C_sはない
1 平たくみえるC_u	1 うすいA_s	1 すじになったC_i，広がらない
2 発達したC_u	2 厚いA_s，N_s	2 房状のC_i，濃いC_i
3 頂部が広がらないC_b	3 うすいA_c	3 C_bからできたC_i
4 C_uからできたS_c	4 レンズ状のA_c	4 広がってゆくC_i
5 S_c	5 厚くなりつつあるA_c	5 広がってゆくC_iとC_a
6 悪天時のものでないS_t	6 C_u，C_bが変化したA_c	6 $C_H=5$より広がった
7 悪天時のちぎれ雲	7 何層にもなったA_c，またはA_s，N_sを伴ったA_c	7 全天をおおうC_s
8 S_cとC_u，雲底の高さが異なる	8 塔状・ふさ状のA_c	8 全天に広がってないC_s
9 頂部が乱れて広がったC_b	9 雷雨などに伴う何層ものA_c	9 C_c

出典：気象ハンドブック，p.222

3.8 大気現象と天気の観測

大気の現象は，目や耳の感覚で知ることができる現象であり，水象・塵象・光象・電気象などが含まれる。この大気現象の有無や変化を記録するには，雲形観測の場合と同様に，1956年版国際雲図帖に基づく分類と記号を用いるのが都合がよい。図5.1.4に，主な大気現象とその記号を示す。

天気は，ある時刻における大気の現象の総合的状態を表したものである。これには種々の分類法があるが，一般に，観測用には15種の天気分類と気象通報に使用する国際コードの数字が用いられる。図5.1.5に15種の天気分類記号を示す。

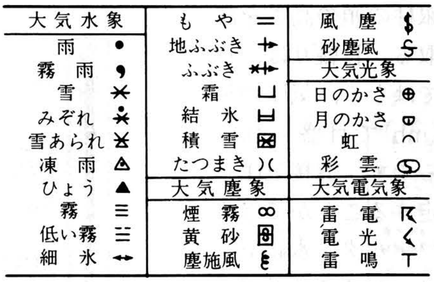


図5.1.4 主な大気現象の記号

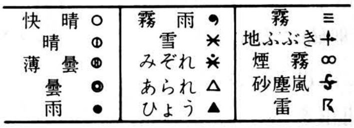


図5.1.5 15種の天気分類記号

3.9 その他の観測

1）視　程

視程とは大気の濁りの程度を表す値であり，観測は一般に目測で行われる。あらかじめ黒ずんだ目標物までの距離を測っておき，昼間は空を背景にして，目標が形まではっきり認められる最大距離をいい，夜間は，目標物を昼間と同じ明るさにした場合に目標が認められる最大距離をいう。

2）蒸発量

蒸発量観測の主な目的は，地面や湖水などから自然蒸発する水量を知ることである。しかし，これを直接観測することは困難なため，ほとんどの場合，容器（蒸発計）に入れた水の減少を測って蒸発量としている。

4 主要機器の使い方

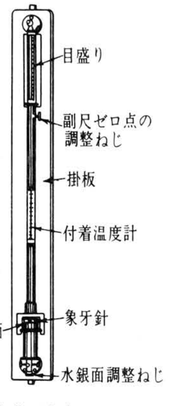
4.1 気　圧

1）フォルタン型水銀気圧計

フォルタン型水銀気圧計は，現在最も信頼のおける気圧計であり，気象観測の気圧測定に広く用いられている。その構造を図5.1.6に示したが，下部の調整ねじによって大気に接する水銀の自由水平面を調整して，象牙針の先端と一致させる。この象牙針を基準とした

水銀柱の頭の高さを読み取る。目盛りは，長さではなく，気圧の単位(mb)で目盛られているので，直接気圧を測定することができる。

フォルタン水銀気圧計は，0℃で基準重力のときに正確な値を示すようになっているので，観測値に表5.1.9に示した温度補正および重力補正を加える必要がある。



出典：気象II，p.122

図5.1.6　フォルタン型水銀気圧計

表5.1.9　フォルタン型水銀気圧計の補正

補正項目	補　正　式
温度補正	$C_\theta = -b \times \dfrac{0.000634\theta}{1+0.0001818\theta}$ C_θ：温度補正値(mb) b：観測値(mb) θ：付着温度計の値(℃)
重力補正	$C_g = B \times \dfrac{g-g_o}{g_o}$ C_g：重力補正値(mb) B：観測値に温度補正を行った値(mb) g：その地点の重力の加速度(cm/s²) g_o：標準重力の加速度(g_o＝980.62cm/s²)

2）アネロイド型指示気圧計

アネロイド型指示気圧計は，金属板の弾性を利用した気圧計である。その外観を図5.1.7に示したが，皿状の薄い金属板2枚を相対して組み合わせ，その周辺を密封して内部を真空状態にした，空ごうとよばれる部分がその中心になっている。この空ごうは，気圧の変化によって変形し，金属板の弾性と平衡状態となる。気圧の変化による空ごうの動きを拡大して指針を動かし，目盛板から気圧の値を読み取る。

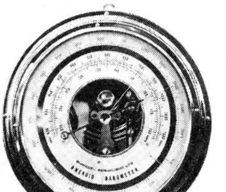


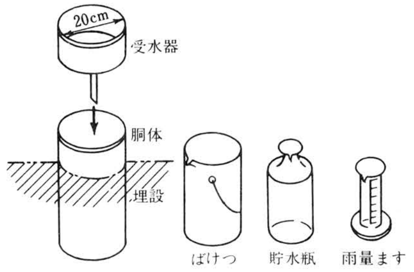
図5.1.7　アネロイド型指示気圧計

この気圧計は温度補正や重力補正を行う必要がないが，水銀気圧計に比べ精度が悪いので，少なくとも一週間に一度はフォルタン型水銀気圧計と比較し，その差を補正値として用いる必要がある。

4.2　降　水　量

1）指示雨量計

指示雨量計の構造は，図5.1.8に示すように極めて簡単であり，したがって故障が少ない。口径の定まった受水器から入った雨は，貯水瓶にためられ，これを雨量ます（メスシリンダーに雨量目盛を付したもの）で測定して雨量を求める。貯水瓶からあふれた雨水は補助ばけつで受け，これも雨量ますで測定して合計する。胴体は平たんな土地に埋設し，周囲には細い芝を植え込み，大地からはね返った雨水が受水器に入らないようにする。なお，受水器の口径は，日本では20cmと定められている。



胴体の中にばけつを入れ，その中に貯水瓶，そして受水器を取り付ける。

図5.1.8　指示雨量計の構成

2）円筒型雨雪量計

円筒型雨雪量計は，主に雪量を計るもので，直径20cm，深さ60cm程度のばけつであり，この中に入った雪をそのまま台ばかりに掛けて全質量を求め，あらかじめ測定してある雨雪量計の質量を差し引いて雪量を求める。測定された質量を，雨量1mmの質量約31.4gで割ることによって降水量に換算する。なお，この計器は雨量の測定に利用することもできる。

5　演習の進め方

5.1　第1回演習

次にあげる測定項目のうち幾つかをテーマ

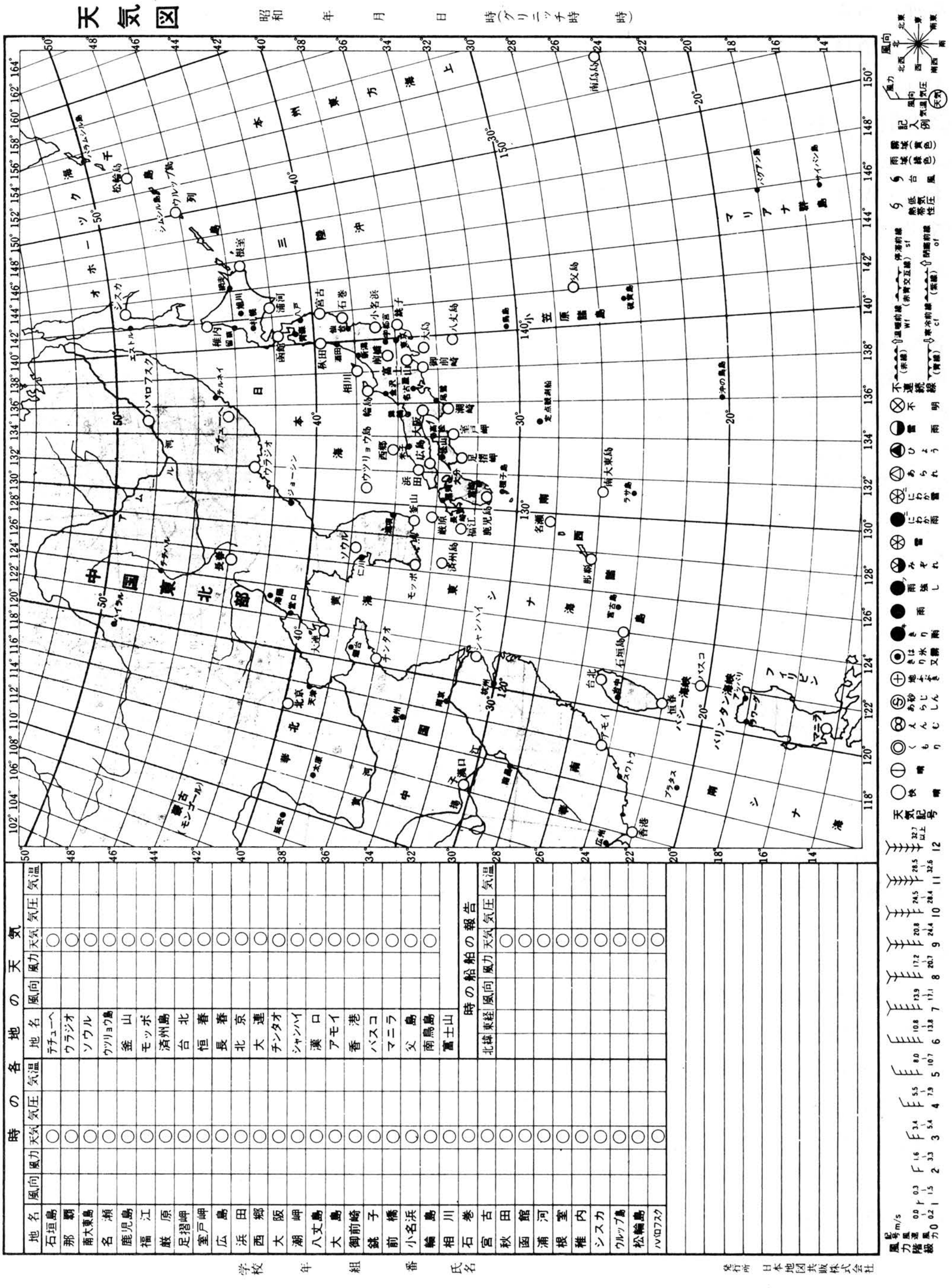


図5.1.9 天気図記入用紙

として，屋外気象における環境条件（露場，日射の有無）の違いにより測定値が異なることを確かめる。

測定項目

①気圧
②雲量・雲形
③天気
④温・湿度
⑤視程
⑥降水量
⑦日射量
⑧風向・風速

環境条件としては，百葉箱の内外，屋上，校庭の中央，中庭，および日影・日向などについて適当な幾つかを選択し測定を行う。

5.2　第２回演習

次にあげる２つの演習項目のうち，時間に余裕があれば(Ｉ)の項目を，そうでない場合には(II)の項目を選び，屋外気象要素に対する理解を深める。

（Ｉ）　第１回演習の測定項目について，１週間程度の継続測定を行う。

（II）　ラジオのNHK第２放送の気象通報を聞いて天気図を作成する。

6　レポートのまとめ方

6.1　第１回演習

①演習当日の天気図を入手し測定値と比較検討を行う。
②諸測定器の精度・感度・時定数などについても考察を加える。
③天気と日射量，風向・風速と雲形などについて考察する。
④環境条件の違いによる測定値の相違について考察を加える。

6.2　第２回演習

１）（Ｉ)の項目の場合

第１回演習の内容に加え，測定期間中の気象の変化について考察を加える。

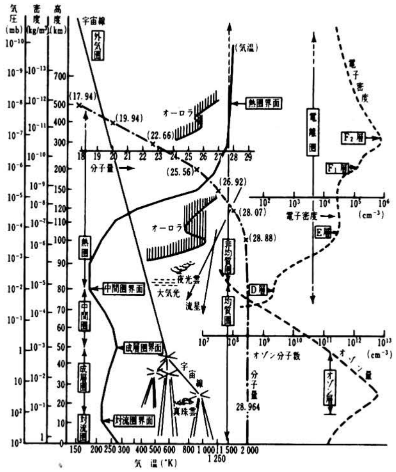
２）（II)の項目の場合

図5.1.9に示す所定の用紙を用いて天気図を作成する。

7　関連事項

7.1　大気の成層

地球をおおっている空気の全体は大気とよばれ，それは地上から順に対流圏，成層圏，中間圏，熱圏，外気圏というような層を形成している。これらの大気の成層状態を図5.1.10に示す。この中で主な気象現象が起こるのは，最下層に位置する対流圏である。大気中の水蒸気の大部分は対流圏にあり，雲・雨などの普通の天気現象は主として対流圏で起こっている。



出典：気象ハンドブック，p.3

図5.1.10　大気の断面図

7.2　大気の運動

7.2.1　大気運動の分類

大気の運動は大きく分けて大規模，中小規模，微小規模の３種類の気象運動と，重力波，慣性波，音波の大気振動に分けられる。気象運動は主に太陽からの熱のうけかたの違いによる気圧の差によって起こる。この運動とそれに伴う水分および熱の移動が，種々の気象現象を生み出すのである。表5.1.10に大気の運動の分類を示す。

ここでは気象運動のみを取り上げ，中小規模の運動を中心に述べる。

7.2.2　低気圧と高気圧

低気圧は，中緯度の温帯低気圧の場合，準停滞性の前線への気圧の谷の接近によって発生する。低気圧の前面では温暖前線が形成さ

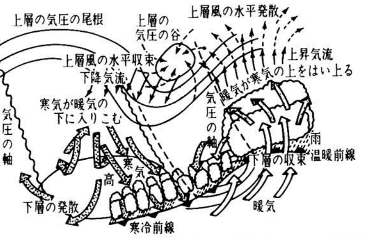
表5.1.10　大気運動の分類

大気中の波動			対応する気象現象	代表的な波長，寿命			地球を取巻く波数（中緯度）
				水平波長	鉛直の広がり	寿　命	
大規模じょう乱	プラネタリー波（ロスビー波）	超長波	熱帯成層圏波動（準2年周期の変動も含む）	約10 000km	約10km	約5時間	1～3
		長　波	移動性高・低気圧（台風・熱低など）〔地雨性降水現象〕〔低気圧家族〕	5 000	10	1週間	4～7
	ヒノプティックスケールのじょう乱	短　波	移動性高・低気圧（台風・熱低など）〔地雨性降水現象〕〔低気圧家族〕	3 000	10	3日	8～12
中小規模じょう乱		中間規模じょう乱	前線性波動（土佐沖低気圧など）偏東風波動〔地雨性降水現象〕〔低気圧家族〕	1 000	5	1日	13～22
		中規模じょう乱	メソ高・低気圧，スアールライン，局地風〔豪雨・豪雪〕	500	5～10	5時間	≳23
		対流現象	巨大な積乱雲，突風対流性降水現象〔豪雨・豪雪〕	50	5～10	1時間	
		乱　流	接地およびプラネタリー境界層，晴天乱流	≧10分	≲3	≲5分	
重力波			普通は両者が結びついた形で現れる。長波：潮汐振動　短波：中小規模じょう乱にも関係	気象現象を問題にするとき，音波はノイズとみなされるが，それ以外の波動は自然界に存在する限り対象となる。数値予報などで計算上の理由で生じたものはやはりノイズとみなすべきである。			
慣性波			普通は両者が結びついた形で現れる。長波：潮汐振動　短波：中小規模じょう乱にも関係				
音波			あまり天気現象に寄与しない				

出典：気象ハンドブック，p.69

れ，後面では寒冷前線が形成される。これらの前線の付近では寒気と暖気の衝突が起こり天気が悪い。高気圧は，温帯低気圧と対となって現れる移動性高気圧と，冬のシベリア高気圧や夏の小笠原高気圧のような停滞性高気圧がある。

図5.1.11に低気圧と高気圧の構造を示す。



（垂直方向を拡大してある。実際は水平方向と垂直方向の比は500：1くらいである）出典：気象ハンドブック

図5.1.11　低気圧と高気圧の立体構造の模式図

7.2.3　海陸風と山谷風

海陸風と山谷風はともに局地的な気温差によって起こる小規模の大気運動である。海陸風は海と陸との温度差によって，日中は海から陸，夜間は陸から海へと規則的に交替する風である。山谷風は，山と平野の間の温度差による海陸風と同様な風と，山の斜面の近くの空気の加熱と冷却による風が互いに組み合わされたものである。

7.2.4　その他の運動

その他の大気運動としては，偏西風のように大規模な運動や，大気境界層内の乱流のように人間生活に直接関連する微小規模の運動などがある。これらの運動も屋外気象に重要な影響を与える場合がある。

7.3　日本の気候区

各種の気候要素と気候因子により，各地はそれぞれ異なる特性の気候型をもっている。この気候型に対してある基準を設け，その基準にあてはまる気候型式の土地が連続したある広がりをもつとき，このような地域を気候区という。日本の気候区については気象学，地理学，農学，衛生学，建築学的立場などからそれぞれ研究され，種々の分類が行われている。建築気候区は，降雪量・降水量・温湿度および日射量などによって各種の区分がなされており，佐藤茂助の建築地区，木村幸一郎の住宅気候区，渡辺要の建築気候区などがある。なお，世界の気候区分としては，植生を基礎にしたケッペンの区分や天候気候学的

基礎の上に立つフーロンの区分，およびアリソフの気団地帯区分などがある。

図5.1.12に関口による日本の気候区分を示す。

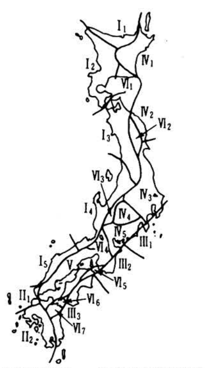
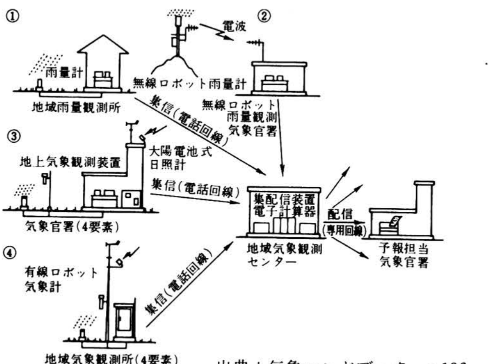


図5.1.12　日本の気候区分

7.4　地域気象システム（AmeDAS）

このシステムは通称アメダス（AmeDAS：Automated Meteorological Data Acquisition System）とよばれ，局地的な異常気象を監視し，適切な防災対策を講ずることを目的にしたものである。観測の対象は降水量，風向，風速，気温，日照時間であり，観測点は日本全国で1 313地点が選定されている。このうち473地点では，降水量のみ観測されている。

図5.1.13はシステムを図解したものである。広範囲な観測網を形成するため観測通報は自動化され，観測地点よりデータセンターまでは一般電話回線，さらに予報担当気象官署までは専用通信回線が用いられている。

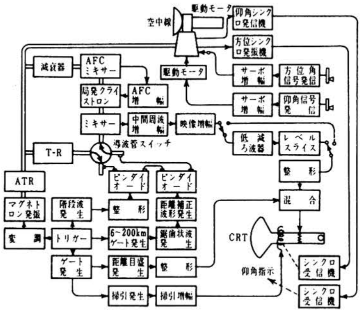


出典：気象ハンドブック，p.196

図5.1.13　AmeDASの構成

7.5　気象レーダー

気象レーダーはマイクロ波を用いて降水・降雪状況を知る機械である。発射されたマイクロ波が雨粒や雪片により一部反射され返ってくるまでの時間から降雨・降雪域の方向と距離がわかる。またパラボラアンテナをいろいろな方向に向けて電波を出すと立体的な構造を観測することもできる。図5.1.14は気象レーダーの系統図で，空中線，送受切換器，送信機，受信機，指示機，同期装置，空中線駆動装置などにより構成されている。



出典：気象ハンドブック，p.199

図5.1.14　気象レーダー系統図

7.6　気象衛星

気象衛星はリモートセンシング技術を利用して大気中の気象現象を測定し地上局にそのデータを送信するものである。気象衛星から観測可能なものは，雲・氷・雪の分布，地表面温度，海面温度，大気の温度，水蒸気量などである。気象衛星には，ほぼ北極と南極上空を通って地球を回る軌道衛星と赤道付近の上空で地球に対して相対的にほぼ静止している静止衛星とがある。日本では静止気象衛星GMS－1（ひまわり）を利用しており，写真5.1.1に雲画像を示す。また，気象衛星の他に科学衛星があり，建築の分野では，環境汚染，土地利用状況，熱環境などの研究に役立っている。写真5.1.2は関西地方を撮影したものである。

7.7　気象資料と入手の方法

国内の気象観測は主に気象庁が行っているために，気象資料の大半は気象庁にある。気象資料を入手するためには，気象庁や気象台に出かけて行けばよい。気象庁では統計課で閲覧できる。また，図書資料管理室には印刷された国内，国外の資料がある。表5.1.11に国内，国外の主な気象資料とその入手方法を示す。

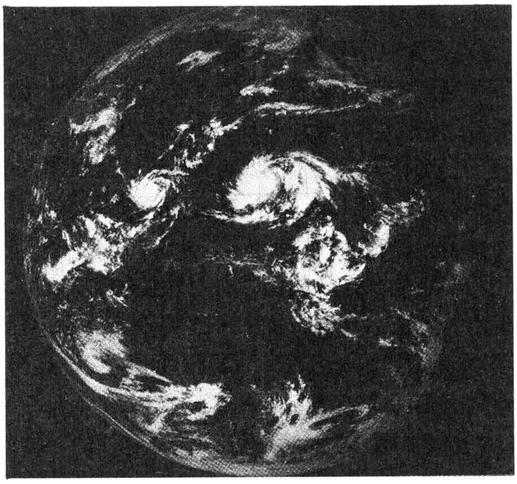


写真5.1.1　GMS(ひまわり)静止気象衛星 VISSR の可視チャネルによる雲画像

提供：気象協会

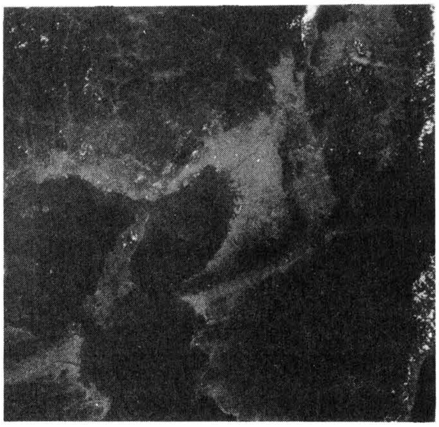


写真5.1.2　科学衛星ランドサット2号による関西地方のシーン

提供：宇宙開発事業団

表5.1.11　主な気象資料と入手方法

	資料名	概要	入手方法
国内	気象要覧	毎月の気候値，天候推移，小型天気図，地震，海洋地磁気など気象庁の観測成果。(月1回，年12冊)	気象協会より販売
	気象庁月報	約150の気象台，測候所における毎日，旬平均，月平均の気象観測値。(月1回年12冊)	〃
	気象庁年報	上記月報に対する年報。第1部は月平均値，年平均値，第2部は度数表などの特殊統計。(年1回)	〃
	気象	その月の主な地点における国内・国外の気候値。解説記事や長期予報もあり読みやすい。(月1回年12冊)	〃
	気象年鑑	1年間の天候推移，小型天気図，地震，火山，海洋，太陽活動など。	〃
	理科年表	東京天文台編でよく知られている。国内以外世界448地点の気候値（気温，降水量）のほか降水量，風速の最大記録など。	丸善より販売
国外	World Weather Records	世界各地における気圧，月平均気温，年平均気温，降水量の月，年の総量。世界的な資番が集められている唯一の資料集。	気象庁 図書資料管理室
	Monthly Climatic Data for the World	全世界約1 500地点の地上気象要素と約500地点の高層気象観測の月平均値。	〃
	Tables of Temperature, Relative Humidity and Precipitation for the World (1958)	英国気象局の編差で世界の約1 700地点における気温の極値，雨日数，日雨量の最大値。	〃
	Die Witterung in Übersee	ハンブルグ海洋気象台から発行されている世界気候の分布図。	〃
	Daily Series, Synoptic Weather Maps	毎日の北半球地上気圧，500mb 高度，気温の分布図。	〃

5.2　大気汚染の測定

1　演習の目的

大気汚染は，その要因とその影響のいずれにおいても建築と無関係ではない。ビル暖房の煙突は，大気汚染の汚染源にもなり，また一方建物は，大気汚染によって，汚れ・さびなどの被害すら受ける。

建築とりわけ環境工学においては，さらに大気汚染との因果関係が深くなる。例えば，室内空気の調整のための換気は，本来，大気が新鮮であることが前提にあり，大気汚染はその前提条件を覆し，換気に必要な自然大気すなわち空気源を侵すものである。これは，憂うべき異常な現象と受けとめねばならない。

もちろん，大気汚染は，建築分野だけの問題ではない。公害として社会問題であり，大気汚染防止のためには，いかなる技術の分野においても，その分野の責任において，最大の努力がなされなければならない。

以上のような認識のうえにたって，大気汚染の実態調査と分析ならびに環境評価を行うことを大気汚染測定の目的とする。しかし大気汚染の機構が複雑であり，特にその影響範囲が，時間的また空間的に大きく，限られた時間で必要なデータ（サンプル）数が得られにくいことなどから，分析と評価にいたる演習の組立てが非常に困難とされている。

そこで本演習は，大気汚染物質の粒子状汚染物質とガス状汚染物質の測定法を習得することに目標をおき，その一例として，浮遊粉じんと NOx を選びそれらの測定法について解説する。

2　基礎事項

2.1　大気汚染の発生機構

大気汚染は自然発生的なものと人工発生的なものとに分けられるが，通常の大気汚染問題としては人工発生的なものが取り扱われる。図5.2.1に人工による大気汚染の発生機構のフローと測定の位置関係を示す。

汚染発生源から放出された汚染物質は，大気中で拡散・希釈・反応・移流の各現象を経て着地濃度にいたるが，これらすべての過程が，大気汚染の現象である。

しかし，大気汚染の測定については，風洞実験・モデル実験などのいわゆる実験室実験を除き，一般的には，①発生源における排出ガス中の汚染物質と，②拡散から移流・着地濃度までを一括した大気中の汚染物質の測定とに区分されている。この測定の区分によって，許容濃度ならびに測定に関する基準などが根本的に異なるので注意が必要である。

①の発生源の測定は，工場の煙突や自動車などの排出ガス濃度の規制に基づいて行われる場合が多く，②の大気測定は，いわゆる環境測定として行われる。

2.2　発生源の種類

汚染物質の発生形態は，表5.2.1に示すとおりであり，汚染発生源を固定発生源と移動発生源とに大別できる。

固定発生源は，主なものとしてビル暖房・火力発電所・清掃工場・生産工場などが挙げられ，前表の発生形態のなかでは多種にわたっている。

一方，移動発生源は，自動車・航空機・船舶・鉄道などであり，燃焼・摩耗などが，それら発生形態の主たるものである。

2.3　大気汚染物質の種類

大気汚染物質の種類は，極めて多種多様で

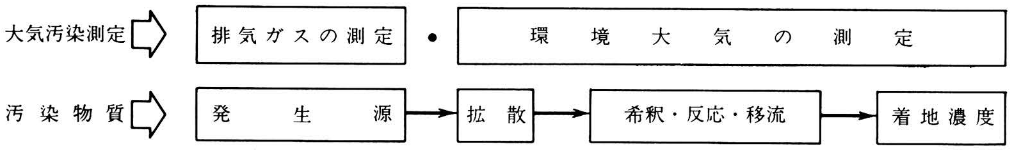


図5.2.1　大気汚染の発生機構と測定区分

表5.2.1 大気汚染物質の発生形態

	発生形態	内容
a.	燃焼	熱および光のエネルギー発生，焼却，脱臭
b.	蒸発	冶金における金属類，油類の処理・輸送，溶剤，塗装剤
c.	製造・処理・加工	金属精錬，焙焼，焼結，めっき，反応，乾燥，建材加工，廃棄物処理
d.	粉粒体の処理運搬	鉱物類粉砕，加工，ふるい分け，計量，包装，輸送
e.	漏洩・散布	ガス工業，化学工業における有害ガス，農薬，消毒薬の散布
f.	摩耗	タイヤ，金属，プラスチック類の摩耗
g.	天然	風，発酵，腐敗，天然ガス，花粉，火山
h.	事故	火災，爆発，ガス放出，消火剤散布
i.	その他	光化学反応，火を使う行事など

出典：通商産業省立地公害局監修：公害防止の技術と法規，大気編，産業公害防止協会，p.10，1980

あるが，便宜的に粒子状汚染物質とガス状汚染物質とに大別できる（図5.2.2参照）。

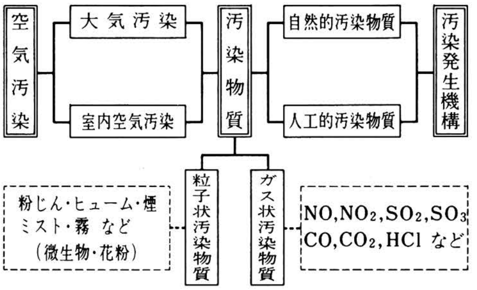


図5.2.2 汚染物質の分類 出典：空気清浄ハンドブック

粒子状汚染物質は，粉じんやばいじんなどで代表されるが，表5.2.1に示すとおり，発生形態のすべてにわたっている。

ガス状汚染物質は，正常空気の組成以外の異常成分のすべてといっても過言ではないが，なかでも特に有害性の高いものを有害ガスとよぶ。現在，環境大気のなかでは，NOx，CO，HCl，SO_2などが汚染の主役として挙げられる。

2.4 光の吸収に関する法則

前章までほとんど化学分析に類するものの扱いがなかったので，NO_2の測定分析に関連して光吸収分析に簡単に触れることにする。

2.4.1 ランベルト・ベールの法則

単色光が媒質の中を通過するとき，媒質中に光束に直角な厚さ dl という薄層を考え，光がこの層に達したときの強さを I，通過し終ったときの強さを $I+dI$ とすると，次式が成り立つ[1]。

$dI=-\mu Idl$ または $dI/I=-\mu dl$　(5.2.1)

$\ln(I_t/I_0)=-\mu l$ または $I_t=I_0e^{-\mu l}$　(5.2.2)

これはまた，次のように書き直せる。

$I_t=I_0\cdot 10^{-kl}$ または $\log(I_t/I_0)=-kl$　(5.2.3)

I_0：入射光の強さ，I_t：透過光の強さ

l：層の厚さ，μ：比例定数，$k=\dfrac{\mu}{2.303}$

(5.2.3)式は入射光と透過光との比の対数が層の厚さに比例することを示す（ランベルトの法則）。

溶媒は単色光を吸収せず溶質だけが吸収するとすれば，(5.2.3)式は次のようになる。

$\log(I_0/I_t)=k'n$　(5.2.4)

$\log(I_0/I_t)=k''c$　(5.2.5)

n：光束の単位断面積当りの溶質の分子数

c：溶液の濃度，k', k''：定数

液層が一定の厚さであれば，入射光と透過光との比の対数は溶液の濃度に比例する（ベールの法則）。

2.4.2 測定の原理

光吸収分析法では，対照液層を透過した光束強度 I_0と試料液層を透過した光束強度 I_tは(5.2.3)と(5.2.5)式から，理想濃度溶液では次の関係が成り立つ[1]（ランベルト・ベールの法則）。

$I_t=I_0\cdot 10^{-\varepsilon cl}$　(5.2.6)

ε：吸光係数，c：濃度，l：厚さ

$I_t/I_0=t$ を透過度，$\log(1/t)=E$ を吸光度とよぶ。

$E=\varepsilon cl$　(5.2.7)

濃度既知の標準溶液を用いて吸光度を測定し，ε を求めておけば定量分析ができる*。

*実際は検量線を作成し，濃度を定量する(4.3,6)参照)。

3　測定の準備

一口に大気汚染の測定といっても，環境測定にしろ，また排ガス測定にしろ，前述のとおり汚染物質の種類が非常に多いため，それらの測定器および測定法も多種多様とならざるを得ない（表5.2.2，5.2.3を参照）。

したがって，測定演習の課題は，既存の設備などの実情に合わせ，また測定地域の特色を生かして設定されることが望ましい。

ここで，発生源における排ガス測定は省略し，環境測定のうちから浮遊粉じんとNOxを選び，それらの測定法の一例を示す。

3.1　気象測定

測定のバックグラウンドとして行うもので，測定器は，アスマン通風乾湿計，風向風速計（1.1「外界気象要素の測定」参照）を用意する。

3.2　浮遊粉じん測定の場合

3.2.1　測　定　器

労研ろ紙じんあい計とダストメータ，ローボリウムエアサンプラ(2.2「空気汚染の測定」参照)，ハイボリウムエアサンプラ，アンダーセンエアサンプラなどのうち，いずれかを選定する。またほかに，ろ紙の乾燥と秤量に必要なデシケータと天秤を用意する。

3.2.2　準備工作

1）ろ紙の乾燥とチェック　　ローボリウムエアサンプラ，ハイボリウムエアサンプラおよびアンダーセンエアサンプラ使用の場合は，秤量以前にろ紙をデシケータに入れ24～48時間乾燥させる。労研ろ紙じんあい計使用の場合は，ダストメータによってろ紙のバックグラウンドの透過率のチェックを行う。

2）測定位置の選定　　測定の位置は，乱気流などの影響を受けないようできるだけ付近の建物や障害物から離れた場所を選定し，採取口の高さは，地上から1.5m～10mの範囲内とする。また同時に測定器に必要な電源の確保を考慮しなければならない。

百葉箱が設置されている場合は，その付近に設定する。この場合，気象データとして百葉箱が利用できる。

3.3　NO_2測定の場合

3.3.1　薬　　品

薬品はすべて特級のものを用いる。試薬調製に用いる水は亜硝酸塩を含まない蒸留水または純水とし，次の薬品を用意する。

①　スルファニル酸
②　氷酢酸
③　N-(1-ナフチル)エチレンジアミン二塩酸塩0.1%溶液
④　亜硝酸ナトリウム
⑤　過マンガン酸カリウム
⑥　濃硫酸または(1：3)硫酸

3.3.2　器　　具

1）試薬調製用の器具　　試薬調製に必要な器具をそろえる。（個数）

①　試薬類保存の褐色瓶(500cc)	6
②　1 *l* メスフラスコ	3
③　10m*l* メスフラスコ	6
④　50m*l* メスシリンダ	1
⑤　1 m*l* メスピペット	1
⑥　10m*l* ホールピペット	1
⑦　100m*l* メスシリンダ	1
⑧　ガラス棒	1
⑨　乳皿	1
⑩　ガスバーナ	1

2）乾燥器　　105～110℃で乾燥できるもの。

3）採取装置用の器具　　採取装置を構成する器具は次のようなものである。

①　吸収管　図5.2.3に示すように，最大孔径60μmのガラスろ過板を有するバブラーを用いる（採取装置1セットにつき2個）。
②　酸化瓶　図5.2.4に示すような直径1mmのノズルを有するミゼットインピンジャを用いる。
③　トラップ　吸収管の容積の2倍程度の管(瓶)を用いる。ミゼットインピンジャでもよい。
④　流量計　0.4*l*/minの流量を正確に計測できるガラス製ロータメータ。
⑤　ガスメータ　ロータメータの検定にも

用いられ，湿式と乾式とがある。

⑥　吸引ポンプ　吸引容量 5 l/min 程度の能力のあるもの。

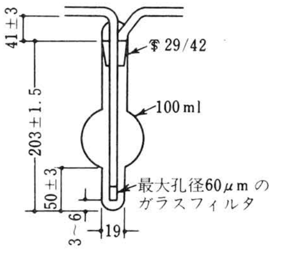


図5.2.3　吸収管の一例
（単位：mm）

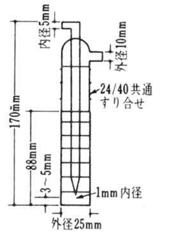
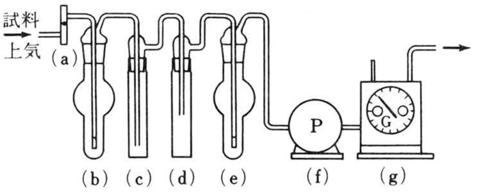


図5.2.4　ミゼットインピンジャ

3.3.3　NO_2採取装置の組立て

装置の組立ては，上記 3）項の器具を図5.2.5のように構成し，試料の採取口から吸収管にいたる導管はテフロン管を用いる。

吸収管(b)は NO_2測定用であり，酸化瓶(c)は NO を NO_2に酸化させるために用いるものである。



(a) 流量計　(b),(e) 吸収管　(c) 酸化瓶
(d) トラップ　(f) 吸引ポンプ　(g) ガスメータ

図5.2.5　NOx 採取装置の一例

3.3.4　測　定　器

薬品の秤量，NO_2の分析のため次の測定器を用意する。

①　天秤

②　分光光度計または光電光度計　波長 545nm で吸光度を測定するのに適するもの。

4　主要測定器の取扱い方

4.1　アンダーセンエアサンプラ

アンダーセンエアサンプラは，多段・多孔のカスケードインパクタによって浮遊粉じん重量濃度および粒径分布を測定するものである。以下，MODEL 5600（1cfm 用）について説明する。

1）装置の構成　　本サンプラは，3 本の支持用スプリングとリングでシールしたガスケットを持つ 8 段のアルミニウム製ステージにより構成されている。各段のステージにはオリフィス(吹出し口）があり，それらの数は，ステージ 0 と 1 が96個，ステージ 2 ～ 6 までがそれぞれ400個，ステージ 7 が201個となっており，オリフィスの直径は上段より下段になるにつれて小さくなる。

2）組立て　　本器は，入口管と 9 個のステージと 8 個の捕集プレートとバックアップフィルタで構成され，各ステージには，0 ～ 7，F の刻字がある。組立ては F ステージをベースに取り付け，秤量済の 7 ステージ用捕集板を 3 つの固定用金具で固定する。7 ステージの次にはその上に 6 番目の捕集板をおき，次に 6 ステージをおくという順序でサンプラを組み立てる（写真5.2.1)。

3）操作

①　真空ポンプのスイッチを入れ，採取流量を28.3 l/min(1cfm)に合わせ，必要時間吸引する。

②　採取後，捕集板とバックアップフィルタを取り外し，ろ紙をデシケータに入れ，24時間乾燥させる。

③　乾燥後，ろ紙を秤量し，各段に捕集さ

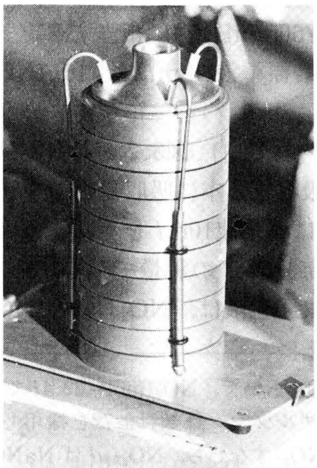


写真5.2.1
アンダーセンエアサンプラ

れた粉じん重量の分布(%)を求める。

4.2　光電光度計(比色計)

光電光度計に関しては，JIS K 0115(吸光光度分析方法通則）によって規定されているので参照されたい。

4.3　ザルツマン法

現在，環境大気中のNO_2の手動測定に関する規定はない。本稿は，NOおよびNO_2（標準試料）のJIS K 0516—1976に示されているゼロガスの分析方法を適用し説明する。

1）吸収発色液(ザルツマン試薬)　酢酸(99～100%) 50mlを含む水900mlにスルファニル酸5 gを加え，十分に振り混ぜて溶かす。必要に応じて緩やかに加熱する。冷却後これに0.1%N—(1—ナフチル)エチレンジアミン二塩酸塩溶液50mlを加え，さらに水を加えて1 lとする。

また保管する場合には，褐色瓶に入れ密栓して冷蔵庫に保管すれば数か月間安全である。使用時には室温としてから使用し，そのとき長時間空気に触れないよう注意する。

2）酸化液　過マンガン酸カリウム25gを約900mlの水に溶かし，濃硫酸25gまたは硫酸(1：3)52mlを加え全量を水で1 lとする。

3）二酸化窒素標準液　105～110℃で3時間乾燥した亜硝酸ナトリウム2.22gを正しく量りとり，メスフラスコ1 lに移し入れ，水に溶かして全量を1 lとする。

この溶液10mlを正しくとり，水を加えて1 lとする。この二酸化窒素標準液1 mlは，10μl NO_2(0℃, 760mmHg)*に相当する。またこの二酸化窒素標準液1 mlは，10μlNOにも相当する。

4）試料大気の採取　図5.2.5に示す採取装置のうち，吸収管2本に吸収発色液を10mlずつ，酸化瓶に酸化液10mlをそれぞれ入れ，試料大気を毎分0.4lの流量で吸引する。各吸収管内の吸収発色液は，NO_2およびNOによって赤色に発色するので，その程度に応じて吸引時間を適当に選ぶ（通常は60分)。

5）分析操作

① 通気終了20分後，各吸収管内の呈色液をそれぞれ約10mmのセルに移し入れる。

② JIS K 0115に基づき波長545nm付近で吸光度を測定する。そのときの対照液には吸収発色液を用いる。

③ 検量線からNO_2およびNOの体積を求める。

6）検量線の作成　10mlのメスフラスコを並べ，これに二酸化窒素標準液を，0，0.1，0.2…，0.5mlと順次にとり，吸収発色液を標線まで加える。これを常温で20分間放置した後，吸光度を測定し，NO_2と吸光度との関係線を作成する。なお，この検量線はNOについても適用できる。

7）計算　次の式によってNO_2またはNOの濃度を算出する[2)]。

i）試料ガス採取量の換算

$$V_s = V \times \frac{273}{273+t} \times \frac{P_a + P_m - P_v}{760} \qquad (5.2.8)$$

V_s：試料ガス採取量(l)〔0℃, 760 mmHg〕

V：ガスメータで測定した吸引ガス量(l)

P_a：大気圧(mmHg)

P_m：ガスメータにおけるゲージ圧(mmHg)

P_v：t℃における飽和水蒸気圧(mmHg)，乾式の場合は$P_v=0$

t：ガスメータにおける温度(℃)

ii）NO_2またはNOの濃度の算出

$$C = \frac{v}{V_s} \qquad (5.2.9)$$

C：NO_2またはNOの濃度(v/v ppm)

v：検量線から求めたNO_2またはNO(μl)

---

* 0℃, 760mmHgにおいて，NO_2/mol＝22.4lであるから，$NO_2/\mu l = 10^{-6}/22.4\text{mol} \times NO_2$となる。
この方法では，ザルツマン係数は0.72を採用しているので，$NO_2/\mu l = \frac{10^{-6}}{22.4} \times 0.72 \times 69\text{g}(NaNO_2) = 2.22 \times 10^{-6}\text{g}(NaNO_2)$すなわち，$NO_2/\mu l$は$NaNO_2$の2.22$\mu$gに相当する。

5 演習の進め方

5.1 大気汚染測定の準備（第1回演習）

大気汚染の測定は，準備，サンプリング，分析の各過程において，それぞれ時間的な制約があり，その点を考慮した測定計画ならびに日程表が必要である。

第1回の演習は，それらの条件を満たし，1週間後の第2回演習時にはサンプリングが終わり，それらの秤量または分析ができるよう目標を設定し，目標達成のための測定計画および日程表の作成を目的とする。

日程計画の目安として，図5.2.6に，測定の各段階の正味の所要時間を示す。これらの各作業の前後に，さらに器具の取りそろえ・準備・洗浄・移動運搬などのための時間を要することも考慮したうえで，班（グループ）の中で各自の分担を決め，仕事が並行して無駄なく進むよう計画をたてる。

図5.2.7は，水曜日を実験演習日と仮定した測定日程の例を示す。

5.2 測定と分析（第2回演習）

気象（温湿度・風向風速），浮遊粉じん，NO_2 の測定を行う。

5.2.1 気象の測定

5.1「屋外気象の測定」参照。

5.2.2 浮遊粉じんの測定

図5.2.7に示す日程例にならうと，第2回演習は，サンプリングおよび乾燥済の各ステージのろ紙を秤量し，サンプリング前の重量を差し引いて増加量を求める。

図5.2.8に示す対数確率紙上に，横軸に各段の有効カットオフ径（ECD）をとり，縦軸に各レンジ以下の質量の累積百分率をプロットする。対数正規の粒径分布であれば，粒径の幾何学的標準偏差 σ_g は次式によって求まる。

$$\sigma_g = \frac{84.13\%\text{粒子径}}{50\%\text{粒子径}} \text{ または } \frac{50\%\text{粒子径}}{15.87\%\text{粒子径}}$$

粒径分布にどのような法則性があるかを調べる。

5.2.3 NO_2 の測定

60分のサンプリングを行い，20分間放置後吸光光度分析を行い，検量線から NO_2 および NO の体積を求め，(5.2.8)，(5.2.9)式から濃度を求める。

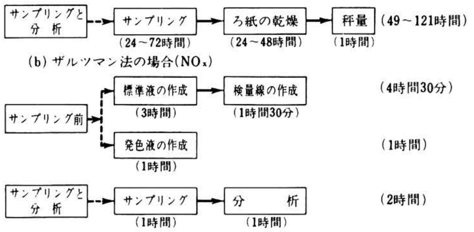
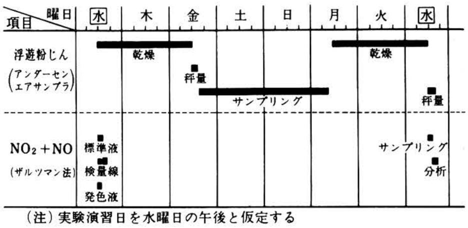


図5.2.6 測定作業と所要時間の一例



（注）実験演習日を水曜日の午後と仮定する

図5.2.7 測定日程の一例

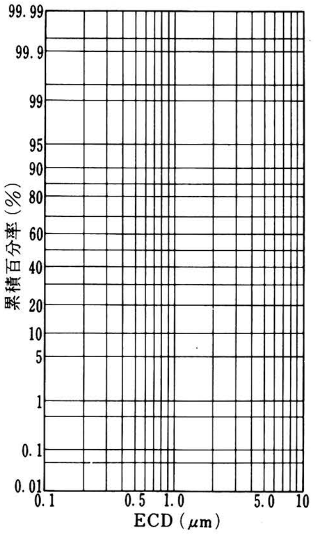


図5.2.8 対数確率紙

6 レポートのまとめ方

レポートは，下記の項目または内容を網羅するものであって，文章は簡潔で全体のレイアウトおよび構成にも十分な配慮が必要である。

6.1 必要項目

1）測定の目的と内容（対象とする汚染物

質）

2）測定器の選定

3）測定場所

4）測定日時

5）測定条件（気象条件，周囲の状況など）

6）測定結果

7）測定結果に関する考察

8）その他（感想・反省など）

6.2　周囲の状況調査

観察によって周囲の状況を調べる。

1）汚染発生源　　汚染発生源の種類，測定点からの方位と距離。

2）被害　　植物への影響，建物の汚れ，金属の腐食，視程の減少など。

3）地形　　測定点付近の地形（河川・森林・山岳など）の状態。

7　関連事項・参考資料

表5.2.2，5.2.3に粒子状物質およびガス状物質の主な測定方法を示し，表5.2.4に大気汚染に係る環境基準を示す。

文　献

1）計量管理協会編：公害計測技術指導書，コロナ社，p.29～32，1979

2）JIS K 0516—1976 一酸化窒素及び二酸化窒素（標準試料）

3）日本化学会編：窒素酸化物，丸善，1977

4）日本規格協会：JIS ハンドブック公害関係，1981

5）早川一也・菱田一雄：大気汚染—基礎と例題—，昭晃堂，1974

4）鈴木武男編：大気汚染の機構と解析—環境科学特論—，産業図書，1980

5）日本分析化学会関東支部編：公害分析指針大気編，1972

6）日本空気清浄協会編：空気清浄ハンドブック，オーム社，1981

表5.2.2　粒子状物質の測定法

粒子状物質			政令	測定方法	測定単位	該当JIS	備考
濃度・量	環境	浮遊粒子状物質（浮遊粉じん）	環基・限・緊	**ローボリウムエアサンプラ（分粒装置付）** **ハイボリウムエアサンプラ**	mg/m^3 〃		環境庁指定
				△光散乱法 △光吸収法 △ピエゾバランス法 △β線吸収法 △接触帯電法	相対値 〃 mg/m^3 〃 相対値	B 7954	同上検討中のもの
		降下ばいじん		デポジットゲージ ダストジャー ペトリ皿，アルミニウムはく	t/km^2/月 g/cm^2/日		
	発生源	ばいじん	ばいじん	ろ過捕集法（ろ紙，ダストチューブ法）	$g/m^3{}_N$	Z 8808	試料採取を自動化したものがある
				規格表との比較法 △光透過法 △光散乱法 △接触帯電圧 △β線吸収法 △電気天びん法	相対値 〃 〃 〃 g/m^3 g/m^3	制定中	 Z 8808準拠 Z 8808準拠
粒径分布	環境・発生源	浮遊粒子状物質の場合		インパクター法 △光散乱法 偏光角度法	$0.2\sim10\mu m$ $0.3\sim10\mu m$	Z 8901	濃度測定にも利用
				△静電分離法 △核凝縮法	$0.003\sim1\mu m$ $1\mu m$以下		同上
		捕集した粒子状物質の場合		標準ふるい法 沈降法 顕微鏡法	$>74\mu m$ $<74\mu m$ $<1\mu m$	Z 8901	
濃度	自動車	ディーゼル排気煙	自	ろ過捕集法 △光反射率法	相対値（%）	D 1101 D 8004 D 8005	

（注）1．ゴシックは法および環境庁通達による測定方法。　2．△印は自動計測器。
3．相対値は質量濃度でなく相対濃度によるもの。　4．環基：環境基準，限：大気汚染の限度，緊：緊急時の措置，自：自動車排出黒煙

出典：通商産業省機械情報産業局計量課監修・計量管理協会公害計測技術委員会編：公害計測技術指導書，コロナ社，p.247（抜粋），1979

表5.2.3 ガス状物質の測定法

物質名		政令	発生源測定方法	測定範囲(ppm)	該当JIS	政令	環境測定方法	測定範囲(ppm)	該当JIS
硫黄酸化物	全硫黄酸化物 SOx	ばい煙・特	○**中和滴定法** ○**沈殿滴定法** ○**比濁法**	>250 50~70 10~300	K 0103 B 7981	環基・緊・限	○モリブデン酸バリウム法 ○二酸化鉛法 ○アルカリろ紙法	mg/日/1000 cm²	B 7952
	二酸化硫黄 SO_2		**溶液導電率法** **赤外線吸収法** **紫外線吸収法** **炎光光度検出法** **定電位電解法**	0~2 000 0~2 000 0~2 000 0~1 000 0~2 000			**溶液導電率法** 電量法 紫外線蛍光法 炎光光度検出法 相関分光法，二次導関数法 ○パラロザニリン法	0~1 0~1 0~1 0~1 0~1 0~0.1	
窒素酸化物	$NO+NO_2$	有害・特・自	○**PDS法** ○**迅速PDS法** ○**硝酸イオン電極法** ○**亜鉛還元NEDA法**	10~200 50~1 000 50~1 500 10~1 000	K 0104 B 7982	環基・緊	**吸光光度法**(ザルツマン法) 化学発光法 ○ヤコブス・ホッカイザー法	0~1 0~10 0~0.2	B 7953
	NO_2		○**ザルツマン法**	5~500					
	NO		**化学発光法** **赤外線吸収法**	0~10 000 0~10 000					
	NO, NO_2		**紫外線吸収法**	0~10 000					
	NO_2		**定電位電量法**	0~2 000					
	$NO+NO_2$		**定電位電解法** **酸化法** **還元法** **出力加算法**	0~5 000 0~10 000 0~10 000 0~10 000					
一酸化炭素 CO		特・自	○酸化凝縮法（3種） ○ガスクロマトグラフ法 赤外線吸収法 ○検知管法 ○ポプカライト法 ○吸光光度法	<1, <100 <1 000 <1 000 0~100 10~1 000 10~1 000 5~500	K 0098	環基・緊・自・限	**赤外線吸収法** 水素炎イオン化検出法 定電位電解法	0~100 0~100 0~100	B 7951
			赤外線吸収法（自） **接触燃焼法**（自）	0~12% 0~10%	D 1029 D 1030				
炭化水素 HC		自	**赤外線吸収法**（自） 水素炎イオン化検出法 接触燃焼法	0~1 000 0~50 0~10%	D 1030		水素炎イオン化検出法 {全炭化水素測定方式 非メタン炭化水素測定方式 活性炭化水素測定方式	 0~50 0~50 0~50	B 7956
塩化水素 HCl		有害・特	○**チオシアン酸第二水銀法** 硝酸銀法，中和法 溶液導電率法 赤外線吸収法	2~40 60~2 500 0~100 0~1 000	K 0107		吸光光度法（同左） 溶液導電率法	0~0.1 0~5	
二酸化炭素 CO_2		自	**赤外線吸収法**（自）	0~16%	D 1030				

（注）1．ゴシックは法および環境庁の指定する測定方法。
2．○印は化学分析法によるもの。
3．政令の欄で，環基：環境基準，特：特定物質，有害：有害物質，緊：緊急時の措置を要するもの，限：大気汚染の限度を定めるもの，自：自動車排出ガス，（自）：自動車排出ガス測定用。
4．発生源の測定方法の欄で，（自）：自動車排出ガス測定用

出典：通商産業省機械情報産業局計量課監修，計量管理協会公害計測技術委員会編，公害計測技術指導書，コロナ社，p.242～245（抜粋），1979

表5.2.4 大気汚染に係る環境基準

物質	二酸化硫黄	一酸化炭素	浮遊粒子状物質	二酸化窒素	光学オキシダント
環境上の条件	1時間値の1日平均値が0.04ppm以下であり，かつ1時間値が0.1ppm以下であること。	1時間値の1日平均値が10ppm以下であり，かつ1時間値の8時間平均値が20ppm以下であること。	1時間値の1日平均値が0.10mg/m³以下であり，かつ1時間値が0.20mg/m³以下であること。	1時間値の1日平均値が0.04ppmから0.06ppmまでのゾーン内またはそれ以下であること。	1時間値が0.06ppm以下であること。
測定方法	溶液導電率法	非分散型赤外分析計を用いる方法	ろ過捕集による重量濃度測定方法またはこの方法によって測定された重量濃度と直線的な関係を有する量が得られる光散乱法	ザルツマン試薬を用いる吸光光度法	中性ヨウ化カリウム溶液を用いる吸光光度法または電量法
告示	昭和44年2月12日 改訂：48. 5. 16	昭和45年2月20日	昭和47年1月11日	昭和48年5月16日 改訂：53. 7. 11	昭和48年5月16日

（備考）1．環境基準は，工業専用地域，車道その他の一般公衆が通常生活していない地域または場所については適用しない。
2．浮遊粒子状物質とは，大気中に浮遊する粒子物質であって，その粒径が10μm以下のものをいう。
3．光化学オキシダントとは，オゾン，パーオキシアセチルナイトレートその他の光化学反応により生成される酸化性物質（中性ヨウ化カリウム溶液からヨウ素を遊離するものに限り，二酸化窒素を除く）をいう。

出典：通商産業省立地公害局監修：公害防止の技術と法規，産業公害防止協会，p.31，1980

5.3　水質の測定

1　演習の目的

1.1　概　　論

人間の生活に欠かせない水に関する水質面での基準値として，環境基準が定められている。特に人の健康にかかわる環境基準として，シアン・メチル水銀・有機リン・カドミウム・鉛・クロム(六価)・ヒ素などの有害物質に関する基準があり，また，生活環境にかかわる環境基準として，河川，湖沼，海域のそれぞれについて，pH，BOD，SS，DO，大腸菌群数などの基準がある。これらの環境基準の達成度を判断するために水質測定が継続的に実施されている。

また，水の利用や処理の問題に関連し，上水を利用する場合や下水として排水する際の水質を判断するためにも各種の基準が定められている。

上水に関するものでは，特に上水道について，水道法（昭32法177）第4条で，水質基準として規定されている。その具体的な値は厚生省令（昭53厚令56）で決められており，水道事業を行うものは定期および臨時に水質検査を行うことが義務付けられている。

排水に関するものでは，公共用水域に排水される排水基準が水質汚濁防止法（昭45法138)第3条で規定されている。具体的な物質については，水質汚濁防止法施行令（昭46政令188)で定められており，また，各物質ごとの基準値は総理府令（昭46総令35）で提示されている。

1.2　水質測定の目的

建築物で利用する水については，量的な確保とともに質的な確保が必要であり，特に質的な確保は，使用目的に応じてそれぞれ検討されるべきである。例えば，建物で利用する水は，上水，中水，工業用水などをそれぞれの目的に応じた形態で利用しており，水質の面でも用途に応じた設定が考えられる。また，建物外部の水環境についても，安全性や住環境の保全という観点から当然保持すべき水質基準が設定されるべきものである。さらに，水を利用した後の排水についても，生物循環の中で果たす水の役割から考えれば，汚染された水が循環して最終的にいかなる形で処理されるかまで考えたうえで，その質的な確保を図らねばならない。

人間の体内に入る水，体に触れる水，体で間接的に感じる水などのそれぞれについて質的な確保を図るためには，各々に対応した水質基準の設定が必要であり，この水質を保持するためには，現状の水質がいかなる状況にあるかを確実に把握する必要がある。さらに，どのような形で水質を確保するかといった施策を立案するためにも水質の把握が必要であり，したがって，水質を測定することは，すべての水利用，水処理計画の基礎となる。

2　基礎事項

2.1　試料の採取

水質の測定に先立って測定すべき試料をいかに採取するかが第一の問題である。試料の採取方法の選択にあたっては，水質試験の目的にかない，かつ水質の性格に適した方法を採用することが必要である。

試料の採取後できるだけすみやかに水質試験を実施することが望ましいが，試料の運搬や保存が必要な場合には保存処理を行う必要がある。

2.1.1　試料容器

試料容器としては，無色共せん付きガラス瓶か共せん付きポリエチレン瓶を用いる。試料容器は，試料への外部からの物質の混入を防ぎ，また，試料から試料中の各種成分が逃げるのを防ぐために用いるものであるから，密栓できるものを用いる必要がある。ただし，栓にはゴムやコルクなどは用いない。

容器の使用に先立って，温稀硝酸(1＋10)で洗浄し，さらに水で十分に洗浄して用いることが必要である。

2.1.2 採取方法

採取方法は，対象試料が，表面水か，各深度の水か，底層水の水か，配管装置などからの水かによって若干異なる。また，測定の目的や試料の性質によっても異なるので，これらを十分考慮して選定すべきである。

簡易な例としては，図5.3.1に示したように，試料容器で直接採取する方法が用いられる。この際に用いる試料容器は，現場の水であらかじめ5回洗浄することが必要である。これは，採取した水と試験すべき水の性質が同一であるようにするためであるが，洗浄により現場の状況に不均一を生じさせたりしないように留意しなければならない。一般に，試料の採取量は2～5lとする。

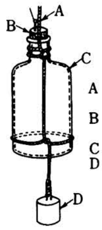


図5.3.1 試料容器を用いた採水瓶の例

2.2 採取時の基本的作業事項

試料採取時に実行すべき基本的作業として，採取にあたっての関連記事の記録がある。

記録事項としては，

①試料の名称
②採取地点の名称および状況
③採取方法
④年月日，時刻
⑤天候（当日および前日）
⑥気温・水温
⑦pH
⑧試料の外観（懸濁物質・沈澱物質・色など）
⑨臭気の有無
⑩その他参考事項

が挙げられる。そして後日，確実に試料の出所を確認できるようにしておく必要がある。

これらの記事の記録にあたって行うべき基本的な作業事項の幾つかを以下に概説する。

1）温　度

温度については，試料採取時に気温と水温を計測する。気温は，ガラス棒状温度計の50度温度計を用い，必要に応じて最高最低温度計も用いる。また，水温は，ガラス棒状温度計の50度または100度温度計を用いるが，ペッテンコーヘル水温計や温度検出部と指示部が分かれているサーミスタ温度計，あるいは，電気抵抗温度計なども用いられる。

2）外　観

試料の外観については，無色の300～500mlのビーカに試料をとり，試料全体や上澄み液・浮上物質・汚濁物質などの色の種類と程度，さらに油類・タール類などの状態と程度および試料のあわ立ちなどの特異な状況について肉眼で観察する。

3）臭　気

臭気については，試料を共栓三角フラスコ300ml中に200mlとり，約40℃に温めて，臭気の種類およびその程度を求める。

臭気の種類は，大分類として，芳香性臭気，植物性臭気，土臭・かび臭気，魚貝臭気，薬品性臭気，金属性臭気，腐蝕性臭気，不快臭気などに分類されている。また，臭気の強さを示すものとして，臭気の希釈倍数値（TO）が用いられる。これは，約40℃に保った水に試料を加え，明らかに臭気を感じるときの希釈の倍数値を求めるものである。

4）その他

濁度などの変化しやすいものについては，採取直後に試験することが望ましい。また，色やpH，電気伝導率についても計測しておくことが望ましい。

2.3 水量の測定

水質を議論する場合に，単に水質の測定に終わることなく，総合的には，水の量に関する調査も必要となってくるので，水量の測定を同時に行っておくことが望ましい。

水量の測定方法は，最大流量に応じて以下のように分けられている。

①1m^3/min未満では容器による測定
②1m^3/min以上4m^3/min未満では直角三

角せきによる測定

③4m³/min 以上8m³/min 未満では四角せきによる測定

④8m³/min以上では四角せきまたは全幅せきによる測定あるいは流速計による測定

3　水質の測定方法

ここでは，各種の水質要素のうち生活環境にかかわる水質を中心に考え，水素イオン濃度(pH)，塩素イオン濃度，生物化学的酸素消費量(BOD)，100℃における過マンガン酸カリウムによる酸素消費量(COD)，固形物および蒸発残留物質の測定方法について概要を説明する。

3.1　水素イオン濃度(pH)

3.1.1　概　　要

ガラス電極 pH 測定装置(pH 計)を用いて，JIS Z 8802(pH測定方法)に従って測定する。

3.1.2　操 作 方 法

調整した pH 計を用いる。電極を試料で3回洗い，ろ紙でぬぐった後，試料中に入れて測定する。試料を入れ替えて測定した3回の pH が±0.1以内の範囲で一致するまで測定した後，それらの値を平均する。測定中の試料の液温の変動は，±1℃ 以内に保つ。

3.2　塩素イオン濃度(Cl^-)

3.2.1　概　　要

塩化物イオンの濃度に応じて，吸光光度法，硝酸水銀(II)滴定法，硝酸銀滴定法，イオン電極法などが用いられる。

0.5mgCl^-/l 以上の濃度では，硝酸銀滴定法が用いられ，試料の pH を約7に調節した状態で，フルオレセインナトリウム溶液を指示薬とし，硝酸銀溶液で滴定して塩化物イオンを定量する。

3.2.2　操 作 方 法

1）試料に濁りがある場合には，ろ紙でろ過する。

2）試料が酸性の場合には，炭酸ナトリウム溶液を用い，また，アルカリ性の場合には，硝酸を用いてpHを約7に調節する。

3）試料にデキストリン溶液およびフルオレセインナトリウム溶液を加えてかき混ぜる。

4）静かにかき混ぜながら0.0282N 硝酸銀溶液で滴定する。黄緑のけい光が消失してわずかに赤みを呈するときを終点とする。

5）空試験として，水50mlをとり 1）～4）の操作を行う。

6）次式によって，試料中の塩化物イオンの濃度を算出する。

$$C=(a-b)\times f\times 1\,000/V\times l$$

C：塩化物イオン濃度（mgCl^-/l）

a：滴定に要した0.0282N 硝酸銀溶液(ml)

b：空試験の滴定に要した0.0282N 硝酸銀溶液(ml)

f：0.0282N 硝酸銀溶液のファクタ

V：試料の量(ml)

l：0.0282N 硝酸銀溶液1ml の塩化物イオン相当量(mg)

3.3　生物化学的酸素消費量(BOD)[4)]

3.3.1　概　　要

BOD とは，水中の好気性微生物によって消費される溶存酸素の量をいい，試料を希釈水で希釈し，20℃で5日間放置したとき消費される溶存酸素の量から求める。

この試験は，試料採取後直ちに行うのが原則であるが，直ちに行えない場合には，0～5℃の暗所に保存し，9時間以内に試験する。

3.3.2　操 作 方 法

1）試料が酸性あるいはアルカリ性の場合には中和する。残留塩素などの酸化性物質を含む場合には亜硫酸ナトリウムで還元する。また，溶存酸素あるいは溶存気体が過飽和である場合には通気などにより追い出すなどの前処理を行う。

2）だいたい予想される BOD 値を包含するように，段階的に希釈倍率を変えた数種類の希釈検水を調製する。

3）希釈検水の一部をサイフォンを用いて，泡が入らないように静かにふ卵瓶に移し，十分にあふれさせる。栓をし，水封して

20±1℃の恒温槽に入れ5日間放置する。

4）調製してから15分後に，残っている希釈検水について，ウインクラ-アジ化ナトリウム変法により溶存酸素量を測定する。

5）20±1℃の恒温槽中に5日間放置したふ卵瓶中の希釈検水についても4）と同様に溶存酸素量を測定する。

6）培養前後の溶存酸素量から次式により，試料のBOD(mgO/l) を算出する。

①植種を行わないとき

$$BOD=(D_1-D_2)/P$$

②植種希釈水を用いたとき

$$BOD=((D_1-D_2)-(B_1-B_2)\times f)/P$$

BOD：生物化学的酸素消費量(mgO/l)

D_1 ：希釈試料を調製してから15分後の溶存酸素量(mgO/l)

D_2 ：培養後の希釈試料の溶存酸素量(mgO/l)

P ：希釈試料中に試料の占める割合(試料/希釈試料)

B_1 ：植種液のBODを測定する際の，希釈した植種液の培養前の溶存酸素量(mgO/l)

B_2 ：植種液のBODを測定する際の，希釈した植種液の培養後の溶存酸素量(mgO/l)

f ：植種液に対する補正項

3.4 100℃における過マンガン酸カリウムによる酸素消費量(COD)[4]

3.4.1 概　要

CODとは，排水中の被酸化性物質，主として有機物によって消費される酸素の量をいう。試料に過マンガン酸カリウムの一定量の過剰量を加えて，沸騰水浴中で30分間反応させ，そのとき消費した過マンガン酸の量を求め，相当する酸素の量 (mgO/l)として求める。

試料は変質しやすいので，試料採取後直ちに試験を行う。直ちに行えない場合には，0～5℃の暗所に保存する。

3.4.2 操作方法

1）検水の適量をとり，水を加えて100mlとする。

2）稀硫酸(1+2)10mlを加え，硫酸銀の粉末1gを加える。

3）激しく振り混ぜて数分間放置した後，N/40過マンガン酸カリウム10mlを正しく加えて沸騰水浴中で30分間加熱する。沸騰水浴の水面は，常に検水面よりも上部にあるようにする。

4）N/40しゅう酸ナトリウム溶液10mlを加え，60～80℃に保ちながらN/40過マンガン酸カリウム溶液で逆適定する。液の色が薄い紅色を呈する点を終点とする。

5）空試験として，水100mlをとり，1）～4）の操作を行う。

6）次式によってCOD(mgO/l) を算定する。

$$COD=(a-b)\times f\times 1\,000/V\times 0.2$$

COD：100℃における過マンガン酸カリウムによる酸素消費量(mgO/l)

a ：滴定に要したN/40過マンガン酸カリウム溶液(ml)

b ：空試験の滴定に要したN/40過マンガン酸カリウム溶液(ml)

f ：N/40過マンガン酸カリウム溶液のファクタ

V ：試料の量(ml)

3.5 固形物および蒸発残留物質

3.5.1 概　要

排水中に含まれる固形物および蒸発残留物質を以下のように分けて検査する。ただし，排水の種類によっては，これらの定量結果に，105～110℃で揮散しない液状物の一部が含まれることがある。

1）固形物　100mm目を透過し，2mm目に止まる物質。

2）懸濁物質　試料をろ過したときに分離される物質。

3）n-ヘキサン不溶性懸濁物質　懸濁物質をn-ヘキサンで洗い，油脂その他のn-ヘキサン抽出物質を除去した残留物。

4）pH7で生成する懸濁物質　試料をpH7.0±0.5に中和したとき生成する懸濁物質。

5）浮上物質　　試料を30分間放置したとき浮上する物質。

6）沈降性物質　　試料を30分間放置したとき沈降する物質。

7）全蒸発残留物　　試料を蒸発乾固したときに残留する物質。普通は懸濁物質と溶解性蒸発残留物の和である。

8）溶解性蒸発残留物　　懸濁物質を分離したろ液を蒸発乾固したときの残留物。

9）強熱残分　　全蒸発残留物，溶解性蒸発残留物，懸濁物質などを600±25℃で30分間加熱したときに残留する物質。

10）強熱減量　　各残留物とそれらの強熱残分との差。

4　主な計測方法

4.1　ガラス電極による pH 計測法

1）標準液

ガラス電極による測定では，標準液として表5.3.1の5種のものが用いられる。各々の各温度における pH の実用値を表5.3.2に示したが，表示されていない温度での pH の値は補間により求める。

表5.3.1　標準液の名称と組成[5)]

名　　称	組　　成
しゅう酸塩標準液	0.05mol/*l* 四しゅう酸カリウム $KH_3(C_2O_4)_2 \cdot 2H_2O$ 水溶液
フタル酸塩標準液	0.05mol/*l* フタル酸水素カリウム $C_6H_4(COOK)(COOH)$ 水溶液
中性りん酸塩標準液	0.025mol/*l* りん酸一カリウム KH_2PO_4－ 0.025mol/*l* りん酸二ナトリウム $N_{a2}HPO_4$ 水溶液
ほう酸塩標準液	0.01mol/*l* 四ほう酸ナトリウム（ほう砂） $N_{a2}B_4O_7 \cdot 10H_2O$ 水溶液
炭酸塩標準液	0.025mol/*l* 炭酸水素ナトリウム N_aHCO_3－ 0.025mol/*l* 炭酸ナトリウム $N_{a2}CO_3$ 水溶液

2）標準液の調製と保存方法

各標準液の調製方法は，次のとおりである。

①しゅう酸塩標準液　　四しゅう酸カリウム12.71g を純水に溶解して1 *l* とする。

②フタル酸塩標準液　　フタル酸水素カリウム10.21g を純水に溶解して1 *l* とする。

③中性リン酸塩標準液　　リン酸一カリウム3.40g とリン酸二ナトリウム3.55g を純水に溶解して1 *l* とする。

④ホウ酸塩標準液　　四ほう酸ナトリウム3.81g を純水に溶解して1 *l* とする。

⑤炭酸塩標準液　　炭酸水素ナトリウム2.10g と炭酸ナトリウム2.65g を純水に溶解して1 *l* とする。

調整した標準液は，上質の硬質ガラスまたはポリエチレンの瓶に密閉して保存する。

3）指示値の調節

使用前に，標準液を用いて pH 計の指示値を調節する。

電極は12時間以上水に浸し，ガラス面をなじませておく。この電極を pH 計本体に接続し，使用する30分前に電源を入れておく。標準液と試料との温度差は±1℃以内に保つ。

①ゼロ調節　　電極をろ紙でぬぐった後，中性リン酸塩標準液に浸す。手動の温度補償ダイヤルがある場合には，その目盛を標準液の液温に合わせる。pH 計の指示が十分に安定したことを確認した後，表5.3.2により求めた pH 値と一致するようにゼロ調節器を用い指示値を調節する。

②スパン調節　　ゼロ調節後，電極を水で十分に洗浄し，ろ紙でぬぐった後，試料の pH に応じて，フタル酸塩またはほう酸塩標準液に電極を浸し，pH 計の指示が十分に安定したことを確認した後，表5.3.2により求めた pH 値に一致するようにスパン調節器を用い指示値を調節する。調節器を動かした場合は，必ず再び中性リン酸塩標準液に電極を浸し，指示値が表5.3.2の値と±0.1以内で一致するかどうかを確かめる。

4）計測値の表示

pH計は，その精度に応じて表5.3.3に示す3種類に分けられており，測定した3回の結果が各々指示された範囲で一致するまで測定を行ったうえ，それらの値を平均して求める。

表示にあたっては，使用した pH 計の形式と被検液の種類を併記して測定値を表示する。

表5.3.2 標準液の各温度における pH の値[5)]

温度 (℃)	標準液				
	しゅう酸塩	フタル酸塩	中性りん酸塩	ほう酸塩	炭酸塩*
0	1.67	4.01	6.98	9.46	10.32
5	1.67	4.01	6.95	9.39	(10.25)
10	1.67	4.00	6.92	9.33	10.18
15	1.67	4.00	6.90	9.27	(10.12)
20	1.68	4.00	6.88	9.22	(10.07)
25	1.68	4.01	6.86	9.18	10.02
30	1.69	4.01	6.85	9.14	(9.97)
35	1.69	4.02	6.84	9.10	(9.93)
38	—	—	—	—	9.91
40	1.70	4.03	6.84	9.07	—
45	1.70	4.04	6.83	9.04	—
50	1.71	4.06	6.83	9.01	—
55	1.72	4.08	6.84	8.99	—
60	1.73	4.10	6.84	8.96	—
70	1.74	4.12	6.85	8.93	—
80	1.77	4.16	6.86	8.89	—
90	1.80	4.20	6.88	8.85	—
95	1.81	4.23	6.89	8.83	—

* 括弧内の値は2次補間値を示す。

備考 特殊な pH 測定の場合には，この表の値を用いなくてもよい。

表5.3.3 pH 計の種類[5)]

形式	内容
I	標準液の pH の値を測定したとき，繰返し性が±0.02のもの
II	標準液の pH の値を測定したとき，繰返し性が±0.05のもの
III	標準液の pH の値を測定したとき，繰返し性が±0.1のもの

①良い精度が要求される場合

10.53(25℃)

6.82(20℃)形式Ｉガラス電極 pH 計

②良い精度を必要としない場合

3.8 (16℃)形式IIIガラス電極 pH 計

12.5 (30℃)形式Ｉガラス電極 pH 計

4.2 硝酸銀滴定法による塩素イオン濃度計測法

硝酸銀滴定法に使用する試薬および標定方法を以下に説明する。

①稀硝酸(1＋65)

②炭酸ナトリウム溶液(5w/v%)

③フルオレセインナトリウム溶液 (0.2w/v%) フルオレイセンナトリウム0.2 g を水に溶かし100ml とする。

④デキストリン溶液 (2w/v%) デキストリン2 g を水に溶かし100ml とする。この溶液は使用時に調整する。

⑤塩化物イオン標準液 (1mgCl⁻/ml) 塩化ナトリウム(標準試薬)を500～600℃で40～50分間加熱し，デシケータ中で放冷した後，1.648g をとり，適量の水に溶かしてメスフラスコ1 l に入れ，水を標線まで加える。

⑥0.0282N 硝酸銀溶液 硝酸銀4.8g を水に溶かしてメスフラスコ1 l に入れ，水を標線まで加える。

⑦標定 塩化物イオン標準液 (1mgCl⁻/ml) 20ml をビーカにとり，水を加えて液量を約50ml とし，これにデキスリン溶液 (2w/v%) 5ml とフルオレセインナトリウム溶液 (0.2w/v%) 1～2滴を加え，静かにかき混ぜながら硝酸銀溶液で滴定する。黄緑のけい光が消失してわずかに赤みを呈するときを終点とする。この際に要した硝酸銀溶液の ml 数 x から，次式によって0.0282N 硝酸銀溶液のファクタ f を算出する。

$$f = 20/x$$

5 演習の進め方

5.1 第1回演習

1）JIS K 0101 (工業用水試験方法) および JIS K 0102 (工場排水試験方法) を参考にして，水質の試験項目と試験方法を10項目以上について表5.3.4の形式で作表する。

2）水質測定を行う際に，採取時に記入すべき事項についてまとめられるように，2.2を参照して，水質測定記録用紙を作成する。

5.2 第2回演習

1）近隣の河川において5か所以上を選定し，10分間ごとに10回試料を採取する。

2）第1回演習の2）で作成した記録用紙を用いて，採取時の状況を記録する。

3）採取した試料を用いて，ガラス電極法による pH の計測と硝酸銀滴定法による塩素イオン濃度の計測を行う。

表5.3.4　水質試験項目と試験方法

	対象試験項目	試験の目的と概要	試　験　方　法
例	生物化学的酸素消費量(BOD)	水中の好気性微生物の増殖あるいは呼吸作用によって消費される溶存酸素の量をいう	試料を希釈水で希釈し，20℃で5日間放置した時，消費される溶存酸素の量から求める
1			
2			
∫			
10			

6　レポートのまとめ方

6.1　測定地点の確認

測定地点周辺の地理的状況と社会的状況を把握し，水質に影響を与える因子について事前に検討を加えるために，測定地点周辺を含む地図に測定点を記入し，同時に試料採取時を記入しておく。

6.2　計測記録の整理

試料採取時に記録した記録用紙を，測定地点ごとに採取時刻に従ってまとめる。同時に，pHと塩素イオン濃度それぞれの計測値を各地点別に各時刻ごとに整理し，表5.3.5の形式でまとめる。

表5.3.5　水質試験結果のまとめ

測定地点名称および測定日	時　刻	水素イオン濃度(pH)	塩素イオン濃度($mg\ Cl^-/l$)
	:		
	:		
	:		
年	:		
月　日	:		

6.3　計測結果の記述

計測した結果を筋道を立てて記述して示すことは，計測結果を解釈したり，水質に影響を与える種々の因子を推定する際に大きな手助けとなる。

記述の仕方について以下に説明する。

1）地域における水質分布の記述

①計測値の地域分布およびグルーピングを行った水質分布の検討結果を記述する。

②計測値の水質頻度分布により，地域の水質について概観する。

③算術平均値や幾何平均値を用いて地域における水質指標を記述する。

④計測値の信頼限界や変動の大きさを確認し，水質の特性を記述する。

2）水質の時間的変化の記述

①水質の時間変化図を書き，変化の様子を記述する。

②水質の時間変化の等濃度線を書き，水質の平面的変化の様子を記述する。

③水質の時間変化の頻度分布型や算術平均値，幾何平均値および変動の大きさなどを確認し，水質の時間的変化の特性を記述する。

これらの中でも時間的変化の記述は，図5.3.2に示すように，水質に対し影響を与える種々の因子が時系列で与えられるので，広く利用される。

本演習においても，横軸に時間をとり，縦軸にpH，塩素イオン濃度，気温，水温をとった時間的変化を記述したグラフを各測定地点について作成する。

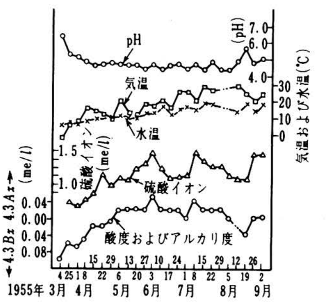


図5.3.2　湯川渋田の水質の季節変化[6)]

6.4　計測結果の考察

計測結果に影響を及ぼす要因について考察を加える。また，水質と地理的要因および社会的要因との関連についても検討する必要がある。

以下に，pHと塩素イオンに影響を及ぼす

要因について説明する。

1）水素イオン濃度に影響を与える要素

① 中性付近の水

ⓐ水が通ってくる地質因子による影響

ⓑ土壌中の炭酸ガスの溶解による影響

ⓒ植物の炭酸同化作用やバクテリアによる生物体の分解による影響

② 酸性の水

ⓐ植物の不完全分解によって生ずる腐植酸を含む有機酸性水による影響

ⓑ温泉の湧出や鉱山の廃水によって生ずる無機酸性水による影響

③ 塩基性の水

ⓐ海水の混入による影響

ⓑ塩基性温泉水の混入による影響

ⓒ石灰岩の割れ目を通過する影響

ⓓコンクリートからの塩基性分の溶解による影響

2）塩素イオン濃度に影響を与える要素

ⓐ人間活動に伴う塩化物の排出による影響

ⓑ海岸線に近い地域の雨および風送塩による影響

ⓒ温泉および火山からの塩化物の影響

ⓓ堆積層の化石海水の浸出による影響

本演習においても，pHや塩素イオン濃度の計測値に影響を及ぼす要因について考察する。また，各地点における計測値が大幅に相違している場合には，その原因を試料の採取状況とあわせて検討する。

7 関連事項・参考資料

7.1 水道水の水質

水道水は直接人の飲用に供されるものであるので，その水質については常に厳しく監視されていなければならない。

水道水の水質基準については，水道法第4条でその要件が定められており，その具体的な制限値が厚生省令で表5.3.6のごとく定められている。

さらに，衛生上必要な措置として，給水栓における安全な水質の確保のため，水道法施

表5.3.6 水道水の水質基準[7]

法第4条第1項第1号に掲げる要件	硝酸性窒素および亜硝酸性窒素	10mg/l 以下であること
	塩素イオン	200mg/l 以下であること
	有機物など(過マンガン酸カリウム消費量)	10mg/l 以下であること
	一般細菌	1mlの検水で形成される集落数が100以下であること
	大腸菌群	検出されないこと
法第4条第1項第2号に掲げる要件	シアンイオン	検出されないこと
	水銀	検出されないこと
	有機リン	検出されないこと
法第4条第1項第3号に掲げる要件	銅	1.0mg/l 以下であること
	鉄	0.3mg/l 以下であること
	マンガン	0.3mg/l 以下であること
	亜鉛	1.0mg/l 以下であること
	鉛	0.1mg/l 以下であること
	六価クロム	0.05mg/l以下であること
	カドミウム	0.01mg/l以下であること
	ヒ素	0.05mg/l以下であること
	フッ素	0.8mg/l 以下であること
	カルシウム・マグネシウムなど(硬度)	300mg/l 以下であること
	蒸発残留物	500mg/l 以下であること
	フェノール類	フェノールとして0.005mg/l 以下であること〔東水22〕
	陰イオン界面活性剤	0.5mg/l 以下であること
法第4条第1項第4号に掲げる要件	pH値	5.8以上8.6以下であること
法第4条第1項第5号に掲げる要件	臭気	異常でないこと
	味	異常でないこと
法第4条第1項第6号に掲げる要件	色度	5度以下であること
	濁度	2度以下であること

（備考）シアンイオン，水銀および有機リンについての「検出されないこと」とは，別表に定める方法により測定した場合において，その結果が当該方法の定量限界を下回ることをいう。

（昭和53年8月31日 厚生省令第56号）

行規則第16条3号で，

「給水栓における水が，遊離残留塩素0.1ppm（結合残留塩素の場合は0.4ppm）以上保持するよう塩素消毒すること。ただし供給する水が病原生物に著しく汚染されるおそれがある場合，または病原生物に汚染されたことを疑わせるような生物もしくは物質を多量に含むおそれがある場合の，給水栓における水の遊離残留塩素は0.2ppm（結合残留塩素の場合は1.5ppm）以上とする。」

と，残留塩素について規定している。

7.2 雑用水の水質

建物内で使用される飲料水用以外の雑用水の水質については，現在のところ確立された基準はなく，またどの用途まで雑用水を供給するかによってその水質基準も異なってくるが，東京都首都整備局が昭和48年に提案した目標値を表5.3.7に示す。

なお，雑用水は中水とよばれることがある。

7.3 環境基準

公共用水域の環境を保全するために，公害対策基本法第9条の規定に基づき，水質汚濁にかかわる環境基準が環境庁告示として公布されている。人の健康にかかわる基準と生活環境にかかわる基準に大別されている。「人の健康にかかわる環境基準」は，シアン・アルキル水銀などの9項目につき表5.3.8のごとく定められており，全国一律に適用される。

「生活環境にかかわる環境基準」は，河川，湖沼，海域別に類型に応じて，pH・BOD・CODなどの基準値が表5.3.9のごとく定められており，排水規制がなされている。

7.4 排水基準

水質汚濁防止法に基づいて指定された特定施設を有する特定事業場が公共用水域に排出する排水の水質について，表5.3.10のごとく排水基準が定められている。すべての事業地に適用される有害物質に関する排水基準と，排水量50m³/日以上のものに適用されるその他の一般項目に関する排水基準とがある。

これらの基準値は最低の値を定めたものであり，環境基準の達成・維持が困難な場合には，都道府県条例によって，より厳しい基準を設けたり（上乗せ基準），特定施設の範囲や規制水質の項目を増やす（横出し基準）ことができる。さらに，東京湾・伊勢湾・瀬戸内海などの閉鎖性水域に関しては，総量規制が導入されている。

表5.3.7 雑用水の水質目標[8)]

（単位：ppm）

分類	I類		A	II類				B
項目＼用途	① 便所	② 空調用	(①～②)の水質目標値	③ 洗車	④ 散水	⑤ 掃除	⑥ 池・噴水	(③～⑥)の水質目標値
濁度(SS)	30以下	10以下	10以下	5以下	5以下	5以下	5以下	5以下
色	不快感を伴わない	不快感を伴わない	不快感を伴わない	30以下	50以下	30以下	30以下	30以下
臭気	不快臭を発しない	不快臭を発しない	不快臭を発しない	不快臭を感じない	不快臭を感じない	不快臭を感じない	不快臭を感じない	不快臭を感じない
pH	6.5～9.0	6.5～9.0	6.5～9.0	6.5～9.0	6.5～9.9	6.5～9.0	6.5～9.0	6.5～9.0
BOD	20以下	10以下	10以下	10以下	10以下	10以下	10以下	10以下
COD	40以下	20以下	20以下	20以下	20以下	20以下	20以下	20以下
溶解性物質	5 000以下	1 000以下	1 000以下	500以下	1 000以下	500以下	1 000以下	500以下
アンモニア性N	20以下	20以下	20以下	10以下	10以下	10以下	10以下	10以下
硬度	400以下	300以下	300以下	200以下	300以下	200以下	300以下	200以下
塩素イオン	400以下	300以下	300以下	200以下	300以下	200以下	300以下	200以下
ABS	2以下	1以下	1以下	1以下	2以下	1以下	1以下	1以下
鉄＋マンガン	1以下	0.5以下	0.5以下	0.3以下	1以下	0.3以下	1以下	0.3以下
残留塩素	－	－	－	0.2以上	0.2以上	0.2以上	0.2～0.5	0.2～0.5
大腸菌群	－	－	－	(－)	(－)	(－)	(－)	(－)

（注） I類の用途に限定して雑用水を供給する場合には，Aの水質目標値となり，II類の用途に限定またはI・II類の全用途に雑用水を供給するときは，Bの水質目標値となろう。

表5.3.8 人の健康にかかわる環境基準[9)]

項目	基準値
シアン	検出されないこと
アルキル水銀	検出されないこと
有機リン	検出されないこと
カドミウム	0.01mg/l 以下
鉛	0.1mg/l 以下
六価クロム	0.05mg/l 以下
ヒ素	0.05mg/l 以下
総水銀	0.0005mg/l 以下
PCB	検出されないこと

表5.3.9 生活環境にかかわる環境基準[10)]

1）河川

類型＼基準値	pH	BOD (mg/l)	SS (mg/l)	DO (mg/l)	大腸菌群数 (MPN/100ml)
AA	6.5～8.5	1以下	25以下	7.5以上	50以下
A	〃	2以下	25以下	7.5以上	1 000以下
B	〃	3以下	25以下	5 以上	5 000以下
C	〃	5以下	50以下	5 以上	－
D	6.0～8.5	8以下	100以下	2 以上	－
E	〃	10以下	ごみなどの浮遊が認められないこと	2 以上	－

（注）AA：水道1級，自然環境保全およびA級以下のもの
　　　A：水道2級，水産1級，水浴およびB級以下のもの
　　　B：水道3級，水産2級およびC級以下のもの
　　　C：水産3級，工業用水1級およびD級以下のもの
　　　D：工業用水2級，農業用水およびE級
　　　E：工業用水3級，環境保全
（参考）MPN最確数による定量法

2）湖沼

類型＼基準値	pH	COD (mg/l)	SS (mg/l)	DO (mg/l)	大腸菌群数 (MPN/100ml)
AA	6.5～8.5	1以下	1以下	7.5以上	50以下
A	6.5～8.5	3以下	5以下	7.5以上	1 000以下
B	6.5～8.5	5以下	15以下	5 以上	－
C	6.0～8.5	8以下	ごみなどの浮遊が認められないこと	2 以上	－

（注）AA：水道1級，水産1級，自然環境保全およびA級以下のもの
　　　A：水道2・3級，水産2級，水浴およびB級以下のもの
　　　B：水産3級，工業用水1級，農業用水およびC級
　　　C：工業用水2級，環境保全

3）海域

類型＼基準値	pH	COD (mg/l)	DO (mg/l)	大腸菌群数 (NPN/100ml)	油分など
A	7.8～8.3	2以下	7.5以上	1 000以下	検出されないこと
B	7.8～8.3	3以下	5 以上	－	検出されないこと
C	7.0～8.3	8以下	2 以上	－	－

（注）A：水産1級，水浴およびB級以下のもの
　　　B：水産2級，工業用水およびC級
　　　C：環境保全

表5.3.10 排水基準[10)]

1）有害物質

有害物質の種類	許容限度	
カドミウムおよびその化合物	カドミウム	0.1mg/l
シアン化合物	シアン	1mg/l
有機リン化合物（パラチオン・メチルパラチオン・メチルジメトンおよびEPNに限る）		1mg/l
鉛およびその化合物	鉛	1mg/l
六価クロム化合物	六価クロム	0.5mg/l
ヒ素およびその化合物	ヒ素	0.5mg/l
水銀およびアルキル水銀その他の水銀化合物	水銀	0.005mg/l
アルキル水銀化合物		検出されないこと
PCB		0.003mg/l

2）その他の一般項目

項目	許容限度	
水素イオン濃度	海域以外	5.8～8.6
	海域	5.0～9.0
生物化学的酸素要求量		160mg/l
	（日間平均	120mg/l)
化学的酸素要求量		160mg/l
	（日間平均	120mg/l)
浮遊物質量		200mg/l
	（日間平均	150mg/l)
n-ヘキサン抽出物質含有量 <鉱油類含有量>		5mg/l
n-ヘキサン抽出物質含有量 <動植物油脂類含有量>		30mg/l
フェノール含有量		5mg/l
銅含有量		3mg/l
亜鉛含有量		5mg/l
溶解性鉄含有量		10mg/l
溶解性マンガン含有量		10mg/l
クロム含有量		2mg/l
フッ素含有量		15mg/l
大腸菌群数	日間平均	3 000個/ml

文献

1）通商産業省公害保安局監修：公害防止の技術と法規・水質編，産業公害防止協会，pp.273～367，1977
2）JIS K 0095—1974 工業用水・工業排水の試料採取方法
3）JIS K 0101—1979 工業用水試験方法
4）JIS K 0102—1974 工場排水試験方法
5）JIS Z 8802—1978 pH測定方法
6）半谷高久：水質調査法，丸善，p.172，pp.355～364，1979.12
7）空気調和・衛生工学会編：空気調和・衛生工学便覧III，空気調和・衛生工学会，p.III—768，1981.4
8）7）と同じ，p.III—58
9）7）と同じ，p.III—651
10）7）と同じ，pp.III—651～652

建築環境工学実験用教材 I 環境測定演習編

昭和57年3月25日 第1版第1刷

定価 1 800円

編集著作人 社団法人 日本建築学会

印刷所 ㈱昭和工業写真印刷所

発行所 社団法人 日本建築学会

104 東京都中央区銀座3－2－19

電　話 (03)535－6511～5

郵便振替口座・東京8－17187

発売所 丸善株式会社

©日本建築学会 1982

定価　1 800円